

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Infrastrutture e Strutture Civili

Tesi di Laurea in Progettazione Ambientale

Aversa GSI Green Stormwater Infrastructure:

La Progettazione Ambientale per l'Adattamento agli Effetti del Cambiamento Climatico

Aversa GSI Green Stormwater Infrastructure:

Environmental Design for Adaptation to Climate Change effects

Candidato
Savino Giacobbe
Matr. A99-3533

Relatore
Prof.ssa
Renata Valente

Correlatore
Prof.
Salvatore Losco

A.A. 2020/2021

INDICE

CAPITOLO II
UNO STRUMENTO INFORMATICO PER LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE:
ENVI-MET

<i>Introduzione</i>	<i>III</i>
CAPITOLO I	
LA RIQUALIFICAZIONE URBANA IN REGIME DI CAMBIAMENTO CLIMATICO	
1. La città e l'ambiente	
1.1. Verso una nuova Progettazione	1
1.2 L'ecosistema urbano	1
1.3 La città e l'inquinamento	2
1.4 La città e il verde	3
1.5 La Progettazione Ambientale della città: adattamento al cambiamento climatico	
1.6 Glossario degli indicatori prestazionali	4
1.6.1 B.A.F.: Biotope Area Factor	4
1.6.2 R.I.E.: Riduzione dell'Impatto Edilizio	5
1.6.3 Predicted Mean Vote	6
1.6.4 Urban Aspect Ratio e Sky-View Factor	6
2. Le Green Stormwater Infrastructure	
2.1 Tipologie	8
2.2 Criteri di progettazione in base alle esperienze americane	11
2.3 Casi di studio delle città americane di Portland, Philadelphia e Seattle	13
3.3.1 Portland	13
3.3.2 Philadelphia	14
3.3.3 Seattle	15
3.4 Adattamento al cambiamento climatico in Italia	16
3. Prin 2015: Studio per l'adattamento climatico in ambito urbano del tratto Aversa-Melito	
3.1 Introduzione	17
3.2 Inquadramento territoriale	17
3.3 Analisi storica	17
3.4 Analisi fluidodinamica	18
3.5 Analisi climatica	18
3.6 Analisi del verde	19
3.7 I progetti dimostratori sulle aree campione e considerazioni sugli esiti della ricerca	20
Bibliografia	23

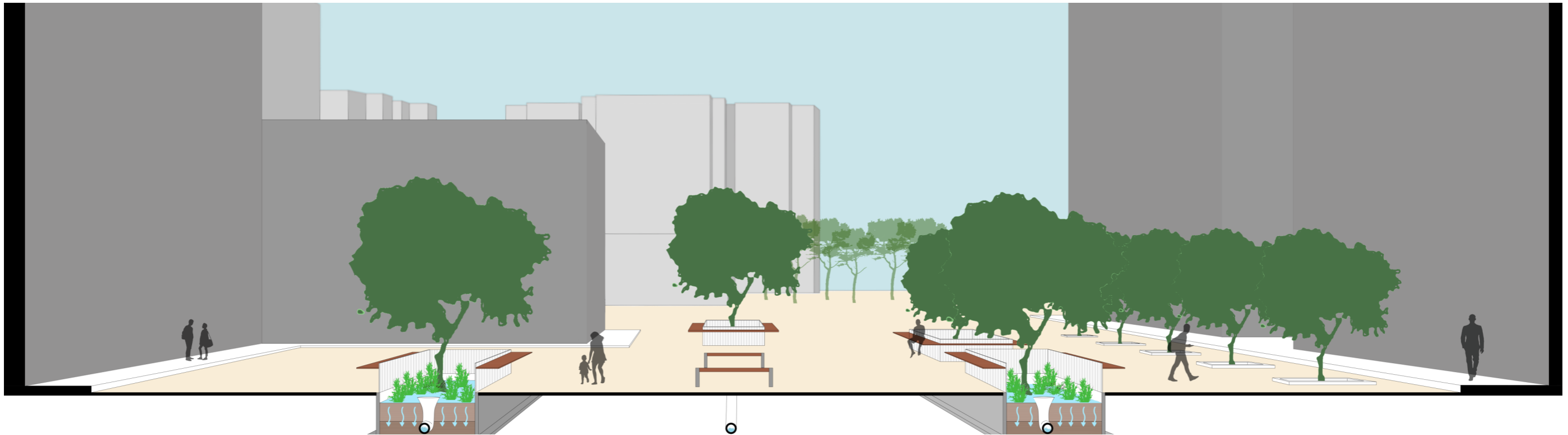
1. Introduzione ad ENVI-MET	
1.1 Il software	25
1.2 Modelli di calcolo	27
1.2.1 Inquinamento dell'aria	27
1.2.2 Comfort termico	28
1.2.3 Radiazione solare	29
1.2.4 Vento	29
1.2.5 Temperatura della superficie e del suolo	30
1.2. Alberi e vegetazione	30
1.3 Limiti del software	31
2. Confronto, effettuato dal candidato, dei risultati di ENVI-Met nei progetti dimostratori del PRIN2015 nei periodi estate e inverno	
2.1 La modellazione relativa alla stagione invernale	32
2.2 Risultati ottenuti e criteri di confronto	36
2.3 Confronto tra Via Torretta (Aversa) e Via Colonne (Giugliano)	41
Bibliografia	46

CAPITOLO III
UN CASO DI STUDIO DI ADATTAMENTO AGLI EFFETTI DEL
CAMBIAMENTO CLIMATICO

1. Stato di Fatto	
1.1 Inquadramento territoriale	48
1.2 Studio della vegetazione	54
1.3 Studio storico dello sviluppo urbano	56
1.4 Studio idraulico	57
1.5 Gli indicatori R.I.E. e B.A.F.	60
1.6 Studio dell'ombreggiamento	62
1.7 Urban Aspect Ratio	63
1.8 ENVI-Met	64
2. Il Progetto dimostratore	
2.1 Considerazioni progettuali	70
2.2 Il progetto	72
2.3 Risultati ottenuti	78
2.3.1 Percentuale Acqua Meteorica Raccolta	78
2.3.2 Nuove Aree Permeabili e Verde Urbano Fruibile	79

2.3.3 R.I.E. e B.A.F.	80
2.3.4 Nuove Aree Ombrate	80
2.3.5 Piste Ciclabili	80
2.3.6 Parametri Climatici	80
2.3.7 Analisi Costi-Benefici (ACB)	83
2.3.7.1 Benefici dovuti agli alberi	83
2.3.7.2 Benefici dovuti alla variazione di veicoli	84
2.3.7.3 Risultati dell'analisi ACB: indicatori di redditività economico-sociale	86
3. La città e l'ambiente: verso una pianificazione sensibile all'acqua	87
Bibliografia	89
Conclusioni	90
<i>APPENDICE</i>	<i>IV</i>
<i>Ringraziamenti</i>	

A mio padre



Introduzione

Secondo l'ultimo rapporto del Gruppo intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC), riunitosi a Ginevra in quest'anno, i cambiamenti nel clima della Terra sono senza precedenti; alcuni dei suoi effetti, come l'innalzamento del livello del mare risulteranno irreversibili per centinaia o migliaia di anni. Tuttavia, una riduzione repentina di anidride carbonica e di gas serra potrebbe attenuare gli effetti del cambiamento climatico. La forte produzione dei gas ha provocato un innalzamento delle temperature globali di circa 1,1 °C rispetto al secolo scorso, ma gli effetti del cambiamento climatico si riscontrano anche con rilevanti modificazioni dei livelli di umidità, dei venti, delle precipitazioni e dei ghiacciai. Nelle città, alcuni aspetti climatici saranno amplificati. Tra questi, le ondate di calore, le inondazioni dovute a forti precipitazioni e l'aumento del livello del mare nelle città costiere.

Il lavoro di ricerca da cui scaturisce questa tesi ha lo scopo di limitare gli effetti dovuti al *climate change* nelle aree urbane. L'espansione (il più delle volte incontrollata) delle aree antropizzate ha comportato un incremento delle superfici impermeabili, che in caso di piogge intense e improvvise, creano seri problemi per lo smaltimento delle acque meteoriche. Inoltre, la inadeguata pianificazione di aree da destinare al verde urbano esaspera fenomeni microclimatici quali l'isola di calore urbano. Negli anni, lo smaltimento delle acque meteoriche, è stato pensato solo dal punto di vista idraulico, ma le condizioni mutate del territorio hanno indotto a ricercare soluzioni alternative in modo da limitare gli effetti dell'urbanizzazione. Sono nati così numerosi criteri di progettazione in tutto il mondo che hanno un unico scopo: la riduzione degli effetti de-

gli eventi meteorici, intercettando l'acqua piovana e dando così il giusto tempo all'acqua per potersi immettere in fognatura o infiltrarsi nel terreno.

Sulla base delle esperienze americane delle *Green Stormwater Infrastructure* (GSI), il gruppo di ricerca del PRIN 2015 "Adaptive design e innovazioni tecnologiche per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di cambiamento climatico" ha sperimentato, lungo il tratto di arteria stradale che collega i comuni di Aversa e Melito di Napoli, un modello di buone pratiche per la gestione sostenibile delle acque meteoriche stradali attraverso l'utilizzo di *Nature Based Solutions* (Valente, 2017).

Il lavoro di tesi ha studiato la possibilità di progettare green street attrezzate con dispositivi GSI in una porzione del territorio oggetto di analisi del PRIN 2015, una zona di Aversa (a sud con il centro storico del comune aversano, nel quale sono presenti attrezzature di pubblica utilità quali l'INPS e il Comando dei Carabinieri). Tale lavoro è stato svolto eseguendo in maniera ciclica le tre fasi di Analisi, Progetto e Verifica. Questa tipologia di approccio ha permesso di raffinare i risultati ottenuti selezionando di volta in volta le soluzioni più adeguate al progetto, scartando quelle meno soddisfacenti.

Il progetto prende forma a partire da tutte le informazioni ricavate nella fase di Analisi attraverso la definizione di indicatori *ad hoc*, che hanno consentito di individuare aree in cui le condizioni microclimatiche sono le più sfavorevoli, come ad esempio, quelle in cui è maggiormente presente la possibilità di isola di calore o in altre dove la velocità del vento è un rischio per la caduta di alberi, cartelli o impalcature. La progettazione è stata affiancata dall'uso del *software* ENVI-Met, in grado di simulare e riprodurre il comportamento microclimatico e fisico delle aree urbane, con il quale è stato possibile verificare, in condizioni estive ed invernali, il presunto mutamento climatico dell'area dovuto alle scelte di progetto fatte.

CAPITOLO I

LA RIQUALIFICAZIONE URBANA IN REGIME DI CAMBIAMENTO CLIMATICO

1. La città e l'ambiente

1.1. Verso una nuova Progettazione

L'uomo esercita un'influenza crescente sul clima e sulla variazione della temperatura terrestre tramite le attività di produzione di combustibili fossili, deforestazione e allevamento del bestiame, che sprigionando enormi quantità di gas serra, incrementano l'effetto serra naturale e il fenomeno del riscaldamento climatico globale. Le conseguenze di questo cambiamento sono molteplici, quali: scioglimento delle calotte polari, aumento del livello dei mari, aumento in frequenza ed intensità dei fenomeni meteorologici estremi, variazione della distribuzione annuale delle precipitazioni piovose, aumento del rischio idrogeologico e di inondazioni, aumento della siccità e rischio incendi. È doveroso sottolineare che il cambiamento climatico è una piaga che interessa tutte le regioni del mondo, seppure in modi e forme diverse. Per affrontare questo problema globale sono stati siglati numerosi accordi e trattati internazionali, tra cui quello di Parigi¹, del dicembre 2015, in cui 195 paesi hanno adottato un protocollo in cui si definisce un piano d'azione globale, inteso a rimettere il mondo sulla buona strada per evitare cambiamenti climatici pericolosi limitando il riscaldamento globale al di sotto dei 2°C². Quindi, è fondamentale che parte di questo contributo sia dato dai nostri comuni, riqualificando e creando nuovi spazi verdi, promuovendo l'uso di mezzi pubblici limitando così la circolazione eccessiva di vetture, cambiando, infine, anche il modo di edificare, inserendo l'elemento ambiente nella progettazione di qualsiasi tipo di edificio.

*“I cambiamenti climatici rappresentano e rappresenteranno in futuro una delle sfide più rilevanti su scala globale. I risultati dell'ultimo rapporto di valutazione dell'IPCC evidenziano che l'Europa meridionale e in particolare l'area del Mediterraneo dovranno fronteggiare nei prossimi decenni impatti dei cambiamenti climatici particolarmente significativi legati all'innalzamento delle temperature, all'aumento della frequenza degli eventi estremi (siccità, ondate di calore, precipitazioni intense) e alla riduzione e al cambiamento del regime delle precipitazioni a scala stagionale o annuale. Gli effetti dei cambiamenti climatici potrebbero amplificare ulteriormente le differenze esistenti fra regioni e Nazioni in termini di qualità e quantità di risorse naturali disponibili, ecosistemi esistenti, nonché condizioni socio-economiche e livello di salute della popolazione.”*³

Queste parole, tratte dal Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, invita-

¹ L'accordo di Parigi, adottato da tutte le parti dell'UNFCCC (Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici) nel dicembre del 2015, è il primo accordo universale legalmente vincolante sul clima a livello mondiale.

² https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it

³ Ministero dell'Ambiente, Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC)

⁴ European Environment Agency, *Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*

no a riflettere sul cambiamento climatico che si ripercuote sul nostro sistema, e lo definisce come vero e proprio rischio, in quanto potrebbe essere causa di innumerevoli disagi nella nostra società, sia a livello sociale che economico. Le città avranno quindi, l'arduo compito di contrastare eventi estremi comportanti perdite, danni o funzionalità ridotte e gravi implicazioni sulla qualità della vita (PNAC). Sarà quindi necessario studiare metodologie per mitigare i rischi e gli shock climatici, riducendo alcuni indicatori e prestazioni del sistema ai valori precedenti agli impatti. Questo va logicamente fatto, considerando la specificità dei territori, dando alla progettazione il compito di incidere sul territorio con un valore di impegno civile e sociale. Nel 2021 il rapporto dell'EEA⁴, presenta una tecnologia basata sulle *nature-based solutions*, tramite cui si preserva e si ripristina la natura, ottenendo benefici multipli come: mitigazione dei cambiamenti climatici, miglioramento della salute, benefici socioeconomici come il turismo, l'energia e i trasporti⁵.

In Italia il percorso nazionale di adattamento climatico inizia nel 2012, con la conseguente approvazione nel 2015 della “*Strategia Nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (SNAC)*”, nel quale sono stati definiti 18 settori dove si evidenziavano le azioni possibili di adattamento a tre livelli temporali: 2020, 2030, 2050. Successivamente, nel 2018 fu sottoposto a revisione (e tutt'ora in attesa di approvazione della VAS), il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), nel quale l'obiettivo principale del Piano è di “*attualizzare il complesso quadro di riferimento conoscitivo nazionale sull'adattamento e di renderlo funzionale ai fini della progettazione di azioni di adattamento ai diversi livelli di governo e nei diversi settori di intervento*”.

Nel 2015 l'ONU pubblica un documento, sottoscritto dai governi dei 193 Paesi, nel quale uno degli obiettivi individuati prevede di *rendere le città inclusive, sicure, durature e sostenibili*, al quale fa riferimento un primo traguardo previsto nel 2030, che è quello di *aumentare considerevolmente il numero di città che adottano e attuano politiche integrate e piani tesi: all'inclusione, all'efficienza delle risorse, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, alla resistenza ai disastri*⁶.

1.2 L'ecosistema urbano

L'approccio ad un'analisi urbana deve partire dal concetto di “*ecosistema urbano*”, costituito da enti biotici e abiotici che interagiscono tra loro in funzione delle diverse dinamiche ambientali e sociali.

Per questo particolare ecosistema, bisogna utilizzare un approccio di tipo *olistico*, ovvero valutando contemporaneamente le componenti coinvolte, quali: *elementi strutturali* ed *elementi sovrastrutturali*. La complessità dell'ecosistema urbano richiede l'individuazione di grandi famiglie te-

⁵ <https://www.scienzainrete.it/articolo/adattamento-ai-cambiamenti-climatici-che-punto-siamo/jacopo-mengarelli/2021-05-09>

⁶ Ci si riferisce all'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, sottoscritta il 25 settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite, e approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU. L'Agenda è costituita da 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (*Sustainable Development Goals, SDGs*) da raggiungere in ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale entro il 2030. I 17 *Goals* fanno riferimento ad un insieme di questioni importanti per lo sviluppo che prendono in considerazione in maniera equilibrata le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile – economica, sociale ed ecologica – e mirano a porre fine alla povertà, a lottare contro l'ineguaglianza, ad affrontare i cambiamenti climatici, a costruire società pacifiche che rispettino i diritti umani.

matiche, in modo da poter organizzare al meglio i metodi analisi e progetto, tra le componenti naturali e artificiali del sistema. Fondamentale è la valutazione di Dobris⁷ fatta nel 1995, dove configura le città come “*informate da cicli artificiali fondati sulla disponibilità delle risorse naturali. Acqua, energia e materiali sono trasformati in beni e servizi per poi ritornare all'ambiente sotto forma di emissioni e rifiuti*”.

Le risorse naturali possono distinguersi in elementi *strutturali* (aria, acqua, verde e suolo) e in elementi *sovrastutturali* (energia, ambiente sonoro e informazione). Per riconoscere i livelli qualitativi degli elementi strutturali, è possibile riferirsi, per l'aria al controllo delle emissioni, per l'acqua, alla corretta gestione delle acque urbane, mentre per la risorsa del verde, ci si riferisce alle capacità termiche, acustiche e depurative che il sistema vegetale può produrre sul sistema urbano. Infine, la qualità del suolo è analizzata attraverso controlli dell'assetto pedologico e geologico dello stesso. Gli elementi sovrastutturali vanno analizzati secondo i seguenti obiettivi: corretta gestione delle fonti energetiche rinnovabili e tradizionali, controllo delle emissioni acustiche, gestione dei flussi di dati relativi all'attività pubblica amministrativa e culturale.

L'ecosistema urbano non è un sistema completamente autonomo, infatti in termini biologici ha una bassa produttività, affidando il compito a sistemi esterni assorbendo energia e producendo rifiuti. Quest'energia aumenta proporzionalmente all'aumentare delle dimensioni della città, non solo per la crescita della popolazione, ma soprattutto per i processi produttivi che vi avvengono. Infatti, l'alta concentrazione di persone ed attività rende la città la principale responsabile dei cambiamenti locali, regionali e globali. D'altro canto, è proprio questa concentrazione che costituisce un insieme di opportunità per l'economia e per la conservazione delle risorse, di conseguenza “*è proprio all'interno della città che molte delle problematiche ambientali possono essere effettivamente indirizzate e risolte*”⁸.

1.3 La città e l'inquinamento

La città moderna è, in parte, figlia dell'incontrollata antropizzazione a partire dal secondo dopoguerra, con uno smisurato aumento delle costruzioni che ha saturato il territorio urbano, e dall'aumento parossistico della mobilità. In virtù di questa crescita, sono diventate sorgenti di calore e inquinamento, come dimostrano diversi studi che hanno attribuito all'urbanizzazione cambiamenti radicali nelle caratteristiche radiative, termodinamiche e aerodinamiche della superficie rispetto a quelle delle zone rurali circostanti. In particolare, risultano modificati parametri meteorologici quali: temperatura superficiale, umidità, precipitazioni, nebbia, qualità dell'aria, altezza dello strato di rimescolamento, profilo di vento.

Il clima della città è confinato in uno strato di atmosfera chiamato *Urban Boundary Layer (UBL)*. Analizzando inoltre, il grafico delle isoterme in una mappa superficiale di una città si ottiene un'isola, definita “*Isola di Calore Urbana*” (*Urban Heat Island*, fig. 1), un fenomeno microclimatico che si verifica nelle aree metropolitane, che consiste in un significativo aumento della temperatura nell'ambito urbano rispetto alla periferia della città e, soprattutto, alle aree

⁷ Importante documento della Commissione Europea sull'Ambiente: *Towards a local sustainable profil*.

⁸ Valente R., *La riqualificazione delle aree dismesse, Conversazione sull'ecosistema urbano*, Napoli, Liguori Editore, 2006, p.6

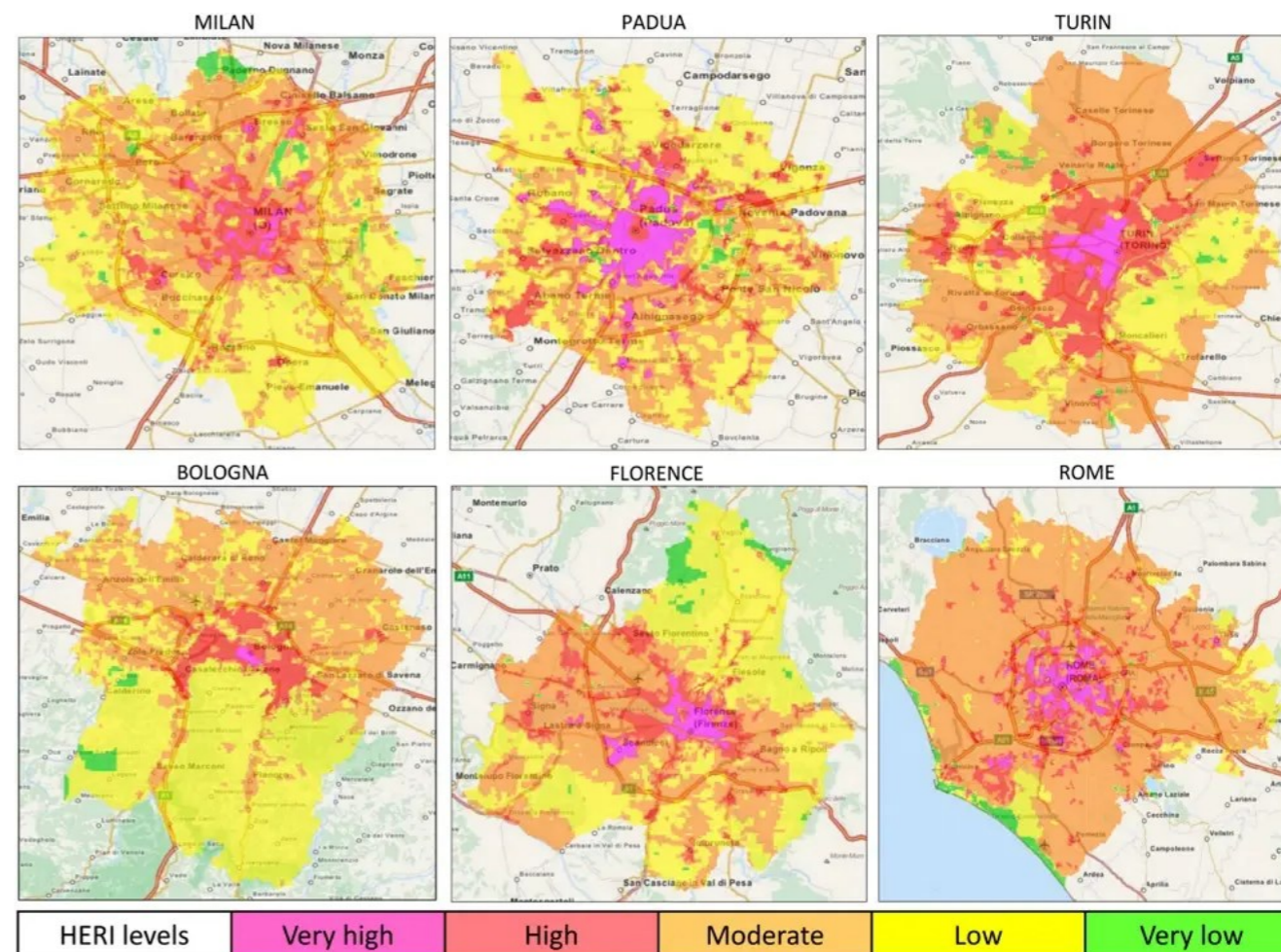


Figura 1 – Mappatura dell'intensità dell'isola di calore delle maggiori città Italiane. Fonte: Morabito M. and co. “*Urban-Hazard Risk Analysis: Mapping of Heat-Related Risk in the Elderly in Major Italian Cities*” (2015).

rurali circostanti. Questo fenomeno è reso ancora più intenso dalla scarsità di specchi d'acqua, prati ed alberi. Particolarmente efficace è l'effetto refrigerante degli alberi che sottraggono calore all'ambiente sia mediante le foglie (fotosintesi ed evapotraspirazione) attraverso che attraverso l'ombra proiettata al suolo, e ne deriva che la presenza del verde urbano e di aree impermeabili mitigano il disagio bioclimatico dovuto all'isola di calore, migliorando così il microclima estivo e la qualità dell'aria. L'effetto di isola di calore urbano è accentuato dalle molteplici fonti di inquinamento atmosferico che insistono nelle città e nelle zone rurali.

La principale fonte di inquinamento atmosferico nelle aree urbane è il trasporto stradale, che comprende tutte le emissioni prodotte dal traffico veicolare, indipendentemente dalle dimensioni del veicolo o dal suo utilizzo. Anche se nei veicoli più moderni si sono adottati dei nuovi catalizzatori (Filtro Attivo Antiparticolato) e nuovi sistemi anti-inquinanti (AdBlue), la combustione di carburante genera gas di scarico contenenti inquinanti, tra i quali: CO, NO_x, PM10 e numerosi additivi. Le emissioni di gas di scarico non sono l'unica fonte di inquinanti legati al traffico. Infatti, il traffico diffonde notevoli quantità di particelle generate dall'usura degli pneumatici o dei componenti dei freni e dall'abrasione del materiale superficiale delle strade. È dunque evidente come l'inquinamento atmosferico da polveri sottili sia uno dei principali problemi che affligge le città. L'inquinamento dell'aria causa circa 2 milioni di morti premature all'anno in tut-

to il Mondo. L'OMS ipotizza che riducendo il particolato da 70 a 20 microgrammi per metro cubo, si potrebbe arrivare a una riduzione della mortalità del 15%. Tra l'altro, sempre l'OMS, dichiara possibile che ad una riduzione dei livelli di inquinamento corrisponderebbe una contestuale diminuzione di infezioni respiratorie, di malattie cardiache e dei tumori al polmone (Legambiente, 2021). Nel 2021 l'Unione Europea, in materia di aria pulita, ha valutato le prospettive di conseguimento degli obiettivi per il 2030 e oltre, considerando l'ambizioso obiettivo inquinamento zero del Green Deal europeo e quello del programma Aria Pulita che entro il 2030 intende dimezzare l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute rispetto al 2005⁹.

1.4 La città e il verde

Secondo il *Federal ethics committee on non-human biotechnology* (2008) nella brochure *The dignity of living beings with regard to plants*, un danno arbitrario causato a una pianta è da considerarsi moralmente condannabile. Nel 2050 si attende che il 70% della popolazione umana mondiale vivrà in aree urbane: questa urbanizzazione ad elevata densità tende a ridurre l'abbondanza di specie native di piante ed animali, e se non pianificata, porterà con sé molti effetti non benefici in termini ecologici, economici e sociali, tra cui l'aumento delle emissioni in atmosfera, l'incremento dei costi per i trasporti e l'approvvigionamento idrico ed energetico, la perdita dei terreni agricoli e il consumo del suolo naturale. Per tentare di contrastare queste dinamiche negative, esistono provvedimenti sia a livello nazionale che internazionale, come quella svolta dalle Nazioni Unite con la Conferenza dello sviluppo urbano sostenibile svolta a *Quito* nell'ottobre 2016, riconoscendo l'esigenza di una cultura che promuova consumi sostenibili, contribuendo ad un uso più idoneo delle risorse, contrastando così anche i cambiamenti climatici. La visione della città deve essere quindi, quella di uno spazio in cui tutti i cittadini vivano con una qualità della vita elevata, proteggendo, ripristinando e promuovendo gli ecosistemi, l'acqua, gli habitat naturali, limitando gli impatti ambientali e adottando stili di vita in armonia con la natura.

Anche l'Unione Europea attraverso il progetto *Horizon Europe 2021-2027*¹⁰ (ancora prima con il progetto *Horizon 2020*) sottolinea la necessità di migliorare la resilienza degli ecosistemi e lo sviluppo di misure di adattamento e mitigazione per i cambiamenti climatici, anche attraverso lo stoccaggio del carbonio. Negli interventi consigliati vi è la protezione delle aree verdi urbane per assorbire gli inquinanti atmosferici, intercettare le acque piovane e incoraggiare la biodiversità¹⁰.

Il verde urbano si compone di numerose tipologie aventi proprie caratteristiche, ed è definito dall'Istat come *“Patrimonio di aree verdi che insiste sul territorio dei Comuni gestito, direttamente o indirettamente, da enti pubblici quali i Comuni, le Province, le Regioni, lo Stato”*¹¹ e sono classificate come: verde attrezzato, parchi urbani, verde storico, aree di arredo urbano e aree

speciali. Gli alberi, le aree verdi e gli ecosistemi in generale svolgono innumerevoli funzioni vantaggiose per la salute pubblica e la qualità urbana, attraverso i relativi servizi ecosistemici. Un ruolo fondamentale ai fini dei servizi ecosistemici effettuati dal verde urbano viene svolto dalle foglie, in quanto più sono sviluppate le chiome, più sono i vantaggi che riceviamo dalle piante, come ad esempio l'ombreggiatura nel periodo estivo.

Numerosi studi hanno valutato la capacità di cattura degli inquinanti atmosferici da parte delle piante, in quanto abbattano il particolato sospeso in atmosfera modificando i flussi d'aria, aumentando la turbolenza ma anche abbattendolo direttamente sulle proprie superfici, in particolare sulle foglie. La capacità di filtro della vegetazione aumenta con l'incremento di copertura del fogliame per unità di superficie; quindi, le fasce verdi possono essere efficaci nel ridurre le polveri e le particelle generate dagli autoveicoli sulle strade. A Chicago, è stato calcolato che gli alberi rimuovono annualmente 5575 tonnellate di inquinanti atmosferici, sequestrando 315800 tonnellate di carbonio (*McPherson et al.*, 1997).

Le aree verdi urbane e le piante sono in grado di esercitare un'influenza positiva sia sul clima che sulla qualità dell'aria nei dintorni, attenuando l'effetto dell'isola di calore e aumentando l'umidità, fornendo ombra con cui si riduce la temperatura delle superfici artificiali più soggette a riscaldamento ma d'altra parte raffreddano l'ambiente tramite l'evapotraspirazione. Grazie alla vegetazione, si è in grado di ridurre il livello e la percezione dei rumori generati dal traffico, dalle industrie e dalle altre attività. L'inquinamento acustico all'aperto in Europa supera i limiti delle raccomandazioni internazionali, e uno studio europeo (*Hosanna* 2013), ha messo in evidenza che una cintura di alberi di 15 metri riduce i livelli del rumore di 3 dBA. Inoltre, le piante, grazie alle radici, riescono a trattenere il terreno contribuendo alla stabilità dei versanti. Nelle aree urbane, il costante consumo di suolo, provoca la progressiva impermeabilizzazione dei terreni, inducendo gravi problemi idraulici, con allagamenti ed inondazioni. La presenza delle piante, quindi, rende i suoli in grado di assorbire una parte delle piogge, che poi vengono rilasciate gradualmente sia nelle falde idriche sotterranee che nei corpi idrici superficiali.

Oltre ai benefici ambientali, la vegetazione lungo le infrastrutture di trasporto ne migliora l'inserimento paesaggistico, contribuendo all'immagine del territorio, così da promuovere le attività legate allo svago. In città, la presenza di aree verdi migliora le caratteristiche estetiche della città, aumentando il valore delle proprietà e rendendola migliore per vivere e lavorare. Un ulteriore beneficio è messo in luce da una moltitudine di studi, tra cui quelli svolti a Melbourne dove è stato calcolato che un incremento della vegetazione dal 15% al 33% ridurrebbe la mortalità dovuta alle ondate di calore tra il 5 ed il 28% (*Chen et al.*, 2014), e quello realizzato a New York che dimostra come la presenza degli alberi diminuisce l'insorgenza dell'asma nei bambini (*Lovasi et al.*, 2008). Il contatto con la natura ha un effetto rigenerativo nell'organismo riducendo lo stress, e migliorando la creatività fino al 50% (*Williams*, 2016).

⁹ Relazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Seconde prospettive in materia di aria pulita. Bruxelles, 2021

¹⁰ Horizon Europe è il Programma quadro dell'UE per la ricerca e l'innovazione per il periodo 2021-2027 ed è il successore di Horizon 2020. L'obiettivo generale di Horizon Europe è: rafforzare le basi scientifiche e tecnologiche dell'Unione e promuovere la sua competitività in tutti gli Stati membri; attuare le priorità strategiche dell'Unione e concorrere alla realizzazione delle politiche europee, contribuendo a fronteggiare le sfide globali del nostro tempo, enunciate da-

gli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e dall'Accordo di Parigi sul clima; rafforzare lo Spazio europeo della ricerca.

¹¹ <https://www.istat.it/it/archivio/verde+urbano>

¹² La biodiversità è la grande varietà di animali, piante, funghi e microorganismi che costituiscono il nostro Pianeta. Una molteplicità di specie e organismi che, in relazione tra loro, creano un equilibrio fondamentale per la vita sulla Terra. La biodiversità infatti garantisce cibo, acqua pulita, ripari sicuri e risorse, fondamentali per la nostra sopravvivenza.

In conclusione possiamo affermare che il verde urbano ha una funzione estetico-architettonica. La presenza del verde migliora decisamente il paesaggio urbano e rende più gradevole la permanenza in città, per cui diventa fondamentale un'integrazione fra elementi architettonici e verde nell'ambito della progettazione dell'arredo urbano, incrementando anche il valore immobiliare. Infatti, i quartieri verdi sono quelli più appetibili come zone residenziali, così come dimostra uno studio di ricerca a Philadelphia, dove il valore immobiliare può essere influenzato fino al 33% dalla vicinanza di un grande parco (Hammet et al., 1974).

1.5 La Progettazione Ambientale della città: adattamento al cambiamento climatico

Con il termine “*Progettazione Ambientale*”, si indicano tutte le operazioni, dagli studi di base naturalistica, con cui si realizza l'inserimento nell'ambiente delle opere, siano esse infrastrutturali, insediamenti produttivi, abitazioni. Essa si fonda su alcune considerazioni fondamentali:

- l'ambiente non è mai indifferente all'opera dell'uomo;
- l'uomo è parte dell'ambiente;
- il tempo è fondamentale: le azioni che danneggiano sono rapide mentre quelle che risanano sono lente;
- l'ambiente è un sistema complesso in cui è praticamente impossibile valutare l'impatto su una singola componente isolandola dal contesto generale.

Quindi, questa disciplina è una prassi operativa che ha lo scopo di sanare le difformità operanti nell'ambiente.

La Progettazione Ambientale cerca di recuperare gli equilibri ecologici esistenti intorno all'opera, ricomponendo l'unità paesaggistica, percettiva, strutturale e funzionale che dovrà ospitare l'opera. Inoltre, essa non coincide con azioni di arredo e di progettazione del paesaggio, aventi questi come obiettivo la riduzione percettiva del danno e la piacevolezza della fruizione. L'opera di progetto deve inoltre, rispettare il luogo, integrarsi con esso, ascoltare cioè il suo “*Genius Loci*”, così come definito da Norberg-Schulz. Il progetto deve contemporaneamente interpretare ed esprimere compatibilità con il luogo dove sorge.

Tra le analisi utilizzate nel Progetto, si ricordano:

- *Analisi dei flussi pedonali e veicolari*: tenendo conto delle attività (commerciali, pubbliche, ludiche) presenti nel territorio analizzato, in modo da poter individuare il flusso di persone e veicoli che attraversano il luogo oggetto di studio;
- *Studio della vegetazione*: vengono individuate le specie vegetali presenti, la loro posizione, ed eventuali danni prodotte alle infrastrutture per la scelta impropria della specie;
- *Analisi climatica*: si individuano tutte le informazioni necessarie a definire correttamente la situazione climatica del luogo, sia in termini di temperatura, umidità, vento, sia in base ai probabili danni provocati dai cambiamenti climatici e dalla situazione infrastrutturale idraulica presente nel territorio;
- *Studio dell'ombreggiamento*: tramite software viene ricavata la mappa di protezione solare, utile strumento per definire le zone con maggior presenza o meno di ombra, nei 4 solstizi.

La Progettazione Ambientale deve inoltre tener conto del cambiamento climatico, i cui progettisti hanno quindi lo scopo di tamponare e migliorare gli effetti dannosi che lo determinano.

Sono state studiate per questo analisi ottenute tramite software (es. Envi-Met) che riescono a definire le aree critiche nelle quali poter agire. Lo scopo però non è quello di arginare la sola criticità di quel luogo, ma creare un contesto progettuale che coinvolga anche le aree confinanti in quanto l'ambiente non è una funzione isolata. La complessità di questi software ha prodotto una metodologia operativa in grado di esplicitare e verificare la definizione delle criticità dello spazio urbano costruito attraverso i passaggi:

- modellazione bi o tridimensionale dell'area di studio;
- la configurazione del software;
- l'esecuzione delle simulazioni;
- l'estrazione e l'interpretazione dei risultati.

Il risultato di questi passaggi, consente di ricavare una metodologia quasi matematica, atta per evidenziare le zone di maggior rischio, sulle quali verrà svolto un iter progettuale. Con lo stesso procedimento è possibile simulare gli effetti del progetto, verificando così la buona riuscita o meno delle ipotesi progettuali.

Bisogna dire che il verde è stato considerato in passato, molto spesso come un elemento decorativo, aggiuntivo e superfluo. In realtà, la vegetazione può diventare un dispositivo funzionale del progetto, come elemento schermante per la luce del sole, o componente per il controllo microclimatico. L'attuale interesse per l'impiego del verde ha determinato l'avvio di percorsi di ricerca di linee guida che possano costituire un supporto per la progettazione. Efficaci risultano l'introduzione e l'applicazione di indici capaci di ridurre l'impatto edilizio, promuovendo il verde come strumento di progetto per il miglioramento del confort ambientale negli spazi abitati. Tra i più noti si segnalano: il **B.A.F.** (*Biotope Area Factor*) per Berlino, il **R.I.E.** (*Riduzione dell'Impatto Edilizio*) per Bolzano. Questi fattori, anche non essendo stati pensati per vaste aree, ma per singoli lotti, danno un'idea degli interventi da poter fare.

1.6 Glossario degli indicatori prestazionali

Le politiche di adattamento climatico nell'ultimo decennio hanno comportato l'esigenza di sviluppare strumenti in grado di valutare la possibile vulnerabilità di sistemi attraverso l'introduzione di modelli basati su indicatori, al fine di fornire una “*rappresentazione sintetica di una realtà complessa*” (Malcevski, 1987). In questo lavoro di tesi sono stati scelti indicatori in grado di fornire un supporto alla valutazione di aspetti morfologici, tecnologici e ambientali del sistema urbano. Successivamente verranno descritti in dettaglio gli indicatori che sono stati usati, nel progetto di questa tesi, per la valutazione degli impatti che detto progetto di adattamento al cambiamento climatico ha sull'area interessata.

1.6.1 B.A.F.: Biotope Area Factor

L'amministrazione pubblica di Berlino è stata la prima a definire nel 1994 un metodo applicativo al fine di incrementare la presenza del verde all'interno della città. Questa procedura si basa sul B.A.F. che esprime la porzione di area che serve come sede per le piante o che assume altre funzioni per l'ecosistema. Pertanto, contribuisce a:

- salvaguardia e miglioramento del microclima e dell'igiene atmosferica;

- salvaguardia e sviluppo delle funzioni del suolo, bilancio delle acque;
- creazione e incremento della qualità degli habitat per piante e animali.

Questo fattore è applicabile a tutte le forme urbane di uso e rende noto i minimi standard ecologici che una nuova edificazione o una ristrutturazione deve garantire. Il B.A.F. è un coefficiente direttamente proporzionale tra le superfici ecologicamente efficaci e inversamente proporzionale alla superficie totale:

$$BAF = \frac{\sum(S_i \times p_i)}{TLA}$$

Le diverse parti del terreno hanno un peso diverso in base a quello che viene definito “valore ecologico”. (fig. 2)

1.6.2 R.I.E.: Riduzione dell’Impatto Edilizio

Il R.I.E., ideato e adottato dalla città di Bolzano, è un indice di qualità ambientale che serve, come per il BAF, per certificare la qualità dell’intervento edilizio rispetto alla permeabilità del suolo e del verde. L’art. 19 bis “Procedura per la riduzione dell’impatto edilizio” del R.I.E. del Comune di Bolzano, rende obbligatoria l’adozione della procedura per tutti gli interventi di trasformazione edilizia ed urbanistica del territorio comunale soggetti a concessione edilizia. L’obiettivo è quello di garantire un indice RIE di progetto, migliore dell’indice RIE dello stato di fatto.

L’algoritmo R.I.E. si presenta come:

$$RIE = \frac{\sum_{i=1}^n S_{vi} \frac{1}{\psi} + (S_e)}{\sum_{i=1}^n S_{vi} + \sum_{j=1}^m S_{ij} \psi'}$$

dove:

- S_{vi} = i-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata trattata a verde;
- S_{ij} = j-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata non trattata a verde;
- ψ_i = coefficiente di deflusso di superficie trattata a verde;
- ψ_j = coefficiente di deflusso di superficie non trattata a verde;
- S_e = Superfici equivalenti alberature.

Le superfici da considerare sono tutte e sole quelle che intercettano la pioggia, misurate in proiezione orizzontale e suddivise tra superfici trattate a verde e superfici non trattate a verde. Per la determinazione dei coefficienti di deflusso ci si rifà alle tabelle del comune (fig. 3), riferite a specifiche stratigrafie di progetto. Per la determinazione, infine, della superficie equivalente delle alberature, si considerano solo gli alberi che a maturità presentano un’altezza superiore a 4 metri, suddivisi in 3 categorie, in base alle quali a ciascun albero viene assegnata una superficie equivalente.



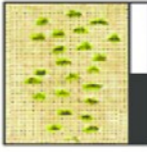


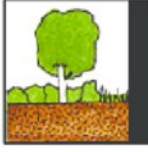
Weighting factor / per m ² of surface type	Description of surface types
 0.0	Surface is impermeable to air and water and has no plant growth (e.g., concrete, asphalt, slabs with a solid subbase)
 0.3	Surface is permeable to water and air; as a rule, no plant growth (e.g., clinker brick, mosaic paving, slabs with a sand or gravel subbase)
 0.5	Surface is permeable to water and air; infiltration; plant growth (e.g., gravel with grass coverage, wood-block paving, honeycomb brick with grass)
 0.5	Surfaces with vegetation on cellar covers or underground garages with less than 80 cm of soil covering
 0.7	Surfaces with vegetation that have no connection to soil below but with more than 80 cm of soil covering
 1.0	Vegetation connected to soil below, available for development of flora and fauna

Figura 2 – Tabella contenente i valori da utilizzare nel calcolo del BAF, scelti in base alla tipologia di superficie


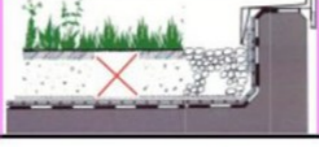
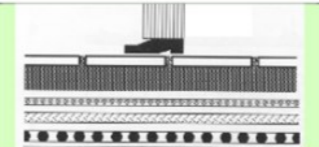
N8 Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio 8 ≤ s ≤ 15 cm Fino ad un’inclinazione di 12°		Realizzato secondo normativa di riferimento: UNI 11235:2007 “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde” Realizzato in difformità alle norme sopra indicate oppure quando le superfici, in conformità alle norme sopra indicate, siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	0,45 Valore da determinare analiticamente e documentare
		Non idoneo. Coefficiente ψ applicato pari a 1,0	1,00
D5 Coperture continue con finitura in materiali sigillati (terrazze, lastrici solari, superfici poste sopra a volumi interrati) Con inclinazione > 3°		Quando le superfici siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	0,90 Valore da determinare analiticamente e documentare

Figura 3 – Stralcio tratto dalle tabelle dei coefficienti di deflusso.

1.6.3 Predicted Mean Vote

Il modello PMV (Modello di voto medio previsto) si basa sul modello di comfort mettendo in relazione il bilancio energetico del corpo umano con l'impressione termica umana utilizzando una funzione empirica diretta. Il PMV è stato originariamente sviluppato per situazioni interne stazionarie, ma estendendo le parti del modello legate al flusso energetico con radiazioni solari e consentendo velocità del vento superiori a una situazione interna, il PMV può anche essere applicato, con limiti, a situazioni esterne. Il PMV è un valore stazionario, ovvero si presume che la persona valutata sia esposta abbastanza a lungo a una situazione climatica costante fino a quando tutti i processi di scambio di energia nel corpo umano non sono diventati stazionari. Questa è l'eccezione per la maggior parte delle persone in un ambiente esterno. La validità degli indici stazionari in ambiente esterno è limitata sia a persone ferme che a grandi ambienti isotermici dove il microclima rimane costante anche se in movimento.

Normalmente la scala PMV è definita tra -4 (molto freddo) e +4 (molto caldo) dove 0 è il valore termico neutro (comfort), ma poiché il valore PMV è una funzione matematica del clima locale, nella maggior parte delle applicazioni può raggiungere anche valori superiori o inferiori ai valori -4 e +4.

Il PMV risulta dal bilancio del calore nell'equazione del *comfort*, ed è una funzione matematica che dipende da sei grandezze:

$$PMV = f\left(\frac{H}{A_{DU}}; I_{cl}; t_i; t_{mrt}; e; v_r\right),$$

dove:

H/A_{DU} [W/m²], produzione di calore interno per unità di superficie di un corpo comune;

I_{cl} [m²K/W], resistenza termica dell'abbigliamento;

t_{mrt} [°C], temperatura media radiante;

t_i [°C], temperatura dell'aria;

e [hPa], pressione del vapor d'acqua dell'aria;

v_r [m/s], velocità relativa dell'aria rispetto al corpo umano.

1.6.4 Urban Aspect Ratio e Sky-View Factor

Nell'assetto urbano le pareti degli edifici e le superfici stradali, funzionando come elementi riflettenti la radiazione solare, determinano il rimbalzo della componente radiativa e l'accentuazione degli effetti complessivi sulle pareti stesse, sul terreno e sul volume d'aria interposto. A tale massa d'aria stabile intermedia, definibile trappola termica, contribuiscono le condizioni di scarsa ventilazione prodotte dagli ostacoli dell'edificato trasformandola in un volume di aria ferma surriscaldata, responsabile a condizioni favorevoli all'inquinamento e al disagio estivo. È possibile scomporre il fenomeno in una fase diurna, in cui l'insieme urbano (*the building-air-ground volume*) capta la radiazione solare e la immagazzina sotto forma di calore nei materiali componenti e una notturna, in cui viene restituito all'ambiente parte del calore accumulato. Va tenuto presente, inoltre, che nelle situazioni in cui la velocità del vento non supera i 25 Km/h e

quindi non riesce a disperdere il velo d'inquinamento presente nelle aree urbane, quest'ultimo modifica il bilancio radiativo schermando l'insolazione durante il giorno e riemettendo la radiazione terrestre durante la notte.

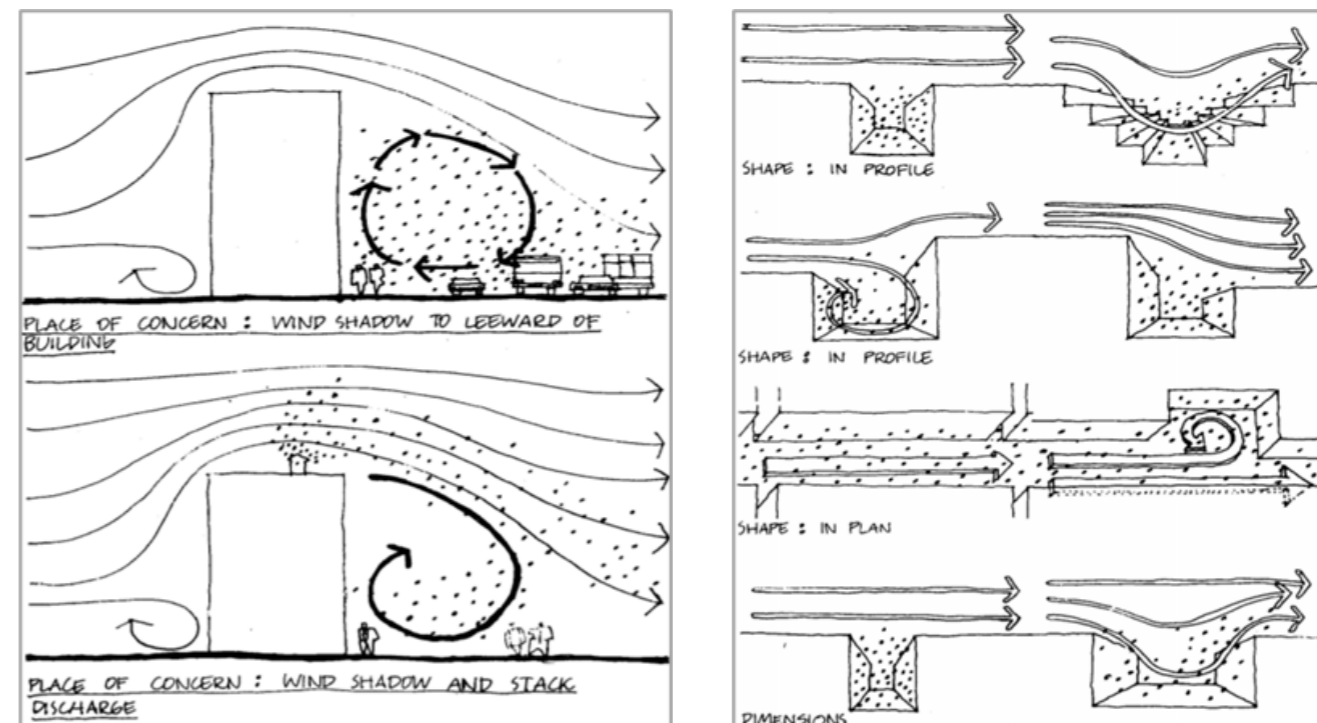


Figura 4 – Immagini tratte dalla “Air Quality at Street-Level: Strategies for Urban Design” di Anne Whiston Spirn, 1986.

Si è quindi arrivati ad una teoria che riuscisse ad evidenziare un'interazione tra i campi di vento/inquinamento e la complessa struttura delle città, ovvero la *Urban Street Canyon*. L'*Urban Street Canyon* è definito come lo spazio sopra la strada e tra gli edifici, come l'unità urbana di base. Studiando il clima in questi *Canyon* si spera di ricavare proprietà generali del clima urbano applicabili a una varietà di città. La forma del *Canyon* della strada urbana può influenzare notevolmente il calore e il vento, che a loro volta, possono aiutare o ostacolare la dispersione di inquinanti. Le illustrazioni del rapporto sulla qualità dell'aria di A.W. Spirn (fig. 4), mostrano alcune possibili interazioni tra vento, sostanze inquinanti e pedoni. Si nota che il flusso di aria può trascinare gli inquinanti dalla sommità degli edifici o lungo i corridoi del traffico nel percorso dei pedoni. Sono state studiate due metriche importanti per misurare il clima dello *Street Canyon*, ovvero:

- *Height/Width Ratio* (Proporzioni Altezza/Larghezza): le proporzioni sono il rapporto tra l'altezza media degli edifici e la larghezza della strada. Il rapporto è particolarmente utile quando si tratta di determinare il tipo di flusso d'aria nel *Canyon*¹³ (fig. 5);

¹³ Oke, T.R. “Street Design and Urban Canopy Layer.”, Energy and Buildings. 11 (1988)

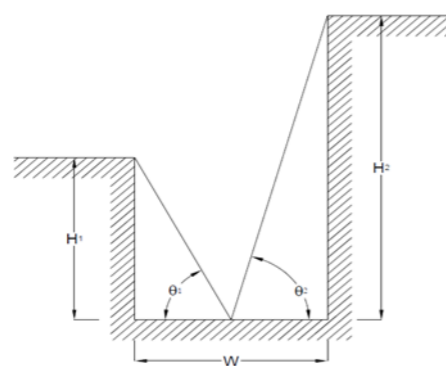


Figura 5 – Rappresentazione delle dimensioni da usare per ricavare la proporzione H/W .

- *Sky View Factor* (Fattore di Vista del Cielo): è meglio visualizzato come una fotografia "a occhio di pesce" del cielo dalla strada (fig. 6). Il valore del fattore varia da 0 a 1. Quando gli ostacoli bloccano il cielo, il fattore si azzerava. Quando il cielo è completamente visibile, il fattore è uno. Il fattore di vista del cielo è utile, ad esempio, nel determinare la quantità di calore che un Canyon trattiene durante la notte. In questo caso, poiché il cielo è più freddo degli edifici riscaldati durante il giorno, il cielo può essere considerato come un gigantesco dissipatore di calore. Più cielo è esposto, più rapidamente il Canyon della strada si raffredda¹⁴.

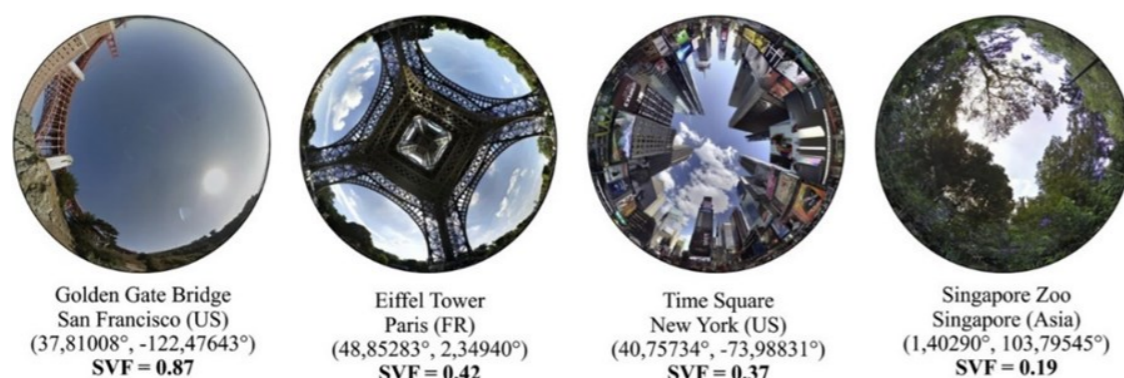


Figura 6 – Immagini generate da *Google Street View* con i rispettivi Fattori di Vista Cielo (SVF). Tratto da: A. Mid-
del, J. Lukaszczuk and c.o. "Sky View Factor footprints for urban climate modeling". *Urban Climate* 25 (2018).

Dati i tre parametri (H , W , L) la descrizione geometrica del *Canyon* è limitata a tre semplici misure: il rapporto H/W , il rapporto L/H e la densità della costruzione $J=A_r/A_l$, dove A_r è l'area approssimativa piana della copertura edificata e A_l è l'area del terreno occupata per ogni edificio. La caratteristica fondamentale di un canyon urbano è quella di favorire, in determinate condizioni, l'instaurarsi di una circolazione d'aria di tipo fortemente locale, costituita da un vortice elicoidale con asse parallelo all'asse longitudinale del canyon.

¹⁴ Bourbia, F. "Impact of street design on urban microclimate"., *Renewable Energy* (2009).

2. Le Green Stormwater Infrastructure

2.1 Tipologie

L'eccessivo aumento del consumo e dell'impermeabilità del suolo, oltre agli eventi meteorologici dovuti ai cambiamenti climatici, hanno indotto uno studio minuzioso delle strategie di progettazione ambientale per la gestione sostenibile delle acque meteoriche, che sempre più spesso, in varie aree geografiche, a causa della loro violenza e della loro imprevedibilità, creano devastanti fenomeni alluvionali nelle zone urbane, che i sistemi fognari esistenti non riescono ad esaurire.

Numerosi sono i criteri di progettazione adottati in tutto il mondo, nominati in diverso modo: *Low Impact Development (LID)* e *Best Management Practices (BMP)* negli Stati Uniti e in Canada; *Water Sensitive Urban Design (WSUD)* in Australia; *Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)* nel Regno Unito. Nel riprogettare la strada urbana e degli spazi aperti, il concetto di *green street*, si sviluppa in modo tale da generare effetti multi-benefici, come quello del miglioramento della qualità delle acque piovane, la gestione delle inondazioni, la raccolta dell'acqua piovana in modo da poter essere fonte di rinnovo delle falde tramite sistemi di fitodepurazione.

Gli alberi hanno un effetto benefico nelle aree urbane, in quanto come già detto nel §1.4, riescono a catturare parte degli inquinanti atmosferici ed acustici, attenuando l'effetto dell'isola di calore. Forniscono maggiori superfici ombreggiate riducendo le superfici artificiali.

Questo tipo di progettazione si diffuse in Germania negli anni '90, e contemporaneamente negli Stati Uniti, il *Clean Water Act* prescrisse che le città erano obbligate a depurare le loro acque piovane, attivando le amministrazioni delle città di Portland, San Francisco, New York, Seattle, Philadelphia, Boston ed altre. Nel 2009 (Kurtz, 2009), nella città di Portland erano operative già 500 strutture di GSI.

Questa progettazione si basa sull'installazione di *Green Stormwater Infrastructure (GSI)* e in base alla definizione fornita dall'*Urban Street Stormwater Guide*, hanno lo scopo di intercettare l'acqua piovana prima che raggiunga la fognatura. Parte di essa viene infiltrata nel terreno, parte evaporata nell'aria e parte viene immagazzinata prima di essere rilasciata lentamente nel sistema fognario. Questa tipologia di infrastruttura verde contribuisce a ridurre l'inquinamento delle acque piovane attraverso una varietà di sistemi di *soilwater-plant*, proteggendo la qualità dell'acqua e riducendo i rischi di inondazione. Inoltre, oltre al ruolo idrologico, possono offrire preziosi co-benefici, come migliorare la mobilità e la sicurezza per gli utenti della strada e migliorare il paesaggio urbano.

Varie sono le tipologie di GSI che possono essere adoperate, in funzione dell'idrologia e della forma della strada. In base alle definizioni fornite dalla *Città di Philadelphia (PA)* del 2014, vengono riportati alcuni dei modelli di GSI:

- *Stormwater Planter*: raccolgono e filtrano l'acqua piovana attraverso strati di suolo e sistemi di radici delle piante, dove vengono trattenuti, degradati e assorbiti inquinanti quali batteri, azoto, fosforo, metalli pesanti, olio e grasso. L'acqua piovana trattata viene quindi

infiltrata nel terreno come acque sotterranee o, se l'infiltrazione non è appropriata, scaricata in un sistema tradizionale di drenaggio delle acque piovane. Queste non richiedono molto spazio e possono aggiungere un aspetto estetico e un habitat naturale alle strade della città, ai parcheggi e alle proprietà commerciali e residenziali, in genere contengono fiori nativi, idrofili, erbe, arbusti e alberi. (Fig. 7)

- *Permeable Pavement*: superfici di pavimentazione costituita da materiali che permettono all'acqua di passare liberamente attraverso la superficie, eliminando o riducendo il deflusso rispetto ad una pavimentazione impermeabile. (Fig. 8)
- *Stormwater bump-out*: estensione paesaggistica del cordolo che sporge nella strada a un incrocio. Un bump-out ha uno strato di pietra che è ricoperto di terra e piante per catturare il deflusso delle acque piovane provenienti dalla strada. Oltre a gestire le acque piovane, i dossi possono calmare il traffico e rendere più sicuri gli incroci per i pedoni. (Fig. 9)
- *Stormwater Tree*: pozzo che ospita un singolo albero, aventi pareti murate o sistemi strutturali per proteggere il suolo dalla compattazione e trattenere l'acqua piovana. Vengono installati nell'area del marciapiede, in modo tale che l'acqua proveniente dalla strada, filtri tramite una grondaia nel pozzo, per poi essere filtrata. (Fig. 10)
- *Stormwater Tree Trench*: composto da una trincea scavata lungo il marciapiede, rivestita con un tessuto geotessile permeabile, riempito di pietra o ghiaia e sormontato da terra e alberi. Il deflusso delle acque piovane scorre attraverso un ingresso speciale che porta alla fossa degli alberi delle acque piovane.
- *Green Gutter*: striscia stretta e poco profonda lungo la linea del marciapiede, progettato per gestire il deflusso delle acque piovane, posizionando la parte superiore del terreno di semina più in basso rispetto all'elevazione della grondaia della strada, permettendo al deflusso delle acque piovane sia dalla strada che dal marciapiede. (Fig. 11)

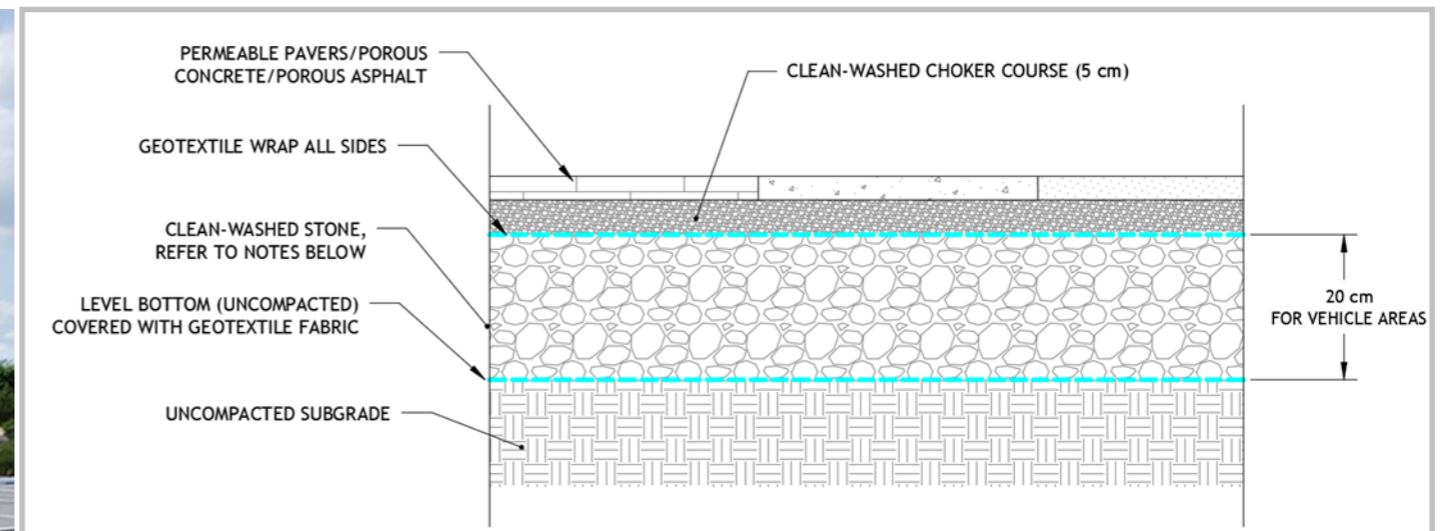


Figura 7 – *Permeable Pavement* in uno spazio adibito a parcheggio in Philadelphia (PA, USA) (sinistra). Le pavimentazioni permeabili si distinguono in: a) *Permeable Pavers*; b) *Porous Concrete*; c) *Porous Asphalt* (a destra). In conformità con l'*American Society of Testing and Materials (ASTM)*, in base alle tre tipologie dispone che:

- *Permeable Pavers* posata con miscela bituminosa dal 5.75 al 6% in peso di aggregato secco. Il drenaggio del legante non deve essere superiore allo 0.3%;
- *Porous Concrete* deve essere utilizzato cemento Portland tipo I, II, IP o IS. Intervallo del rapporto aggregato/cemento compreso tra 4:1 e 4.5:1 e un intervallo del rapporto acqua/cemento compreso tra 0.34 a 0.40 dovrebbero produrre una pavimentazione porosa con proprietà soddisfacenti in termini di permeabilità, capacità di carico e caratteristiche di durabilità;
- *Porous Asphalt* devono essere conformi alle specifiche del produttore. I sistemi devono avere una portata minima di 5"/ora e una percentuale di vuoti non inferiore al 10%. La ghiaia utilizzata deve essere ben classificata e lavata per garantire la permeabilità.

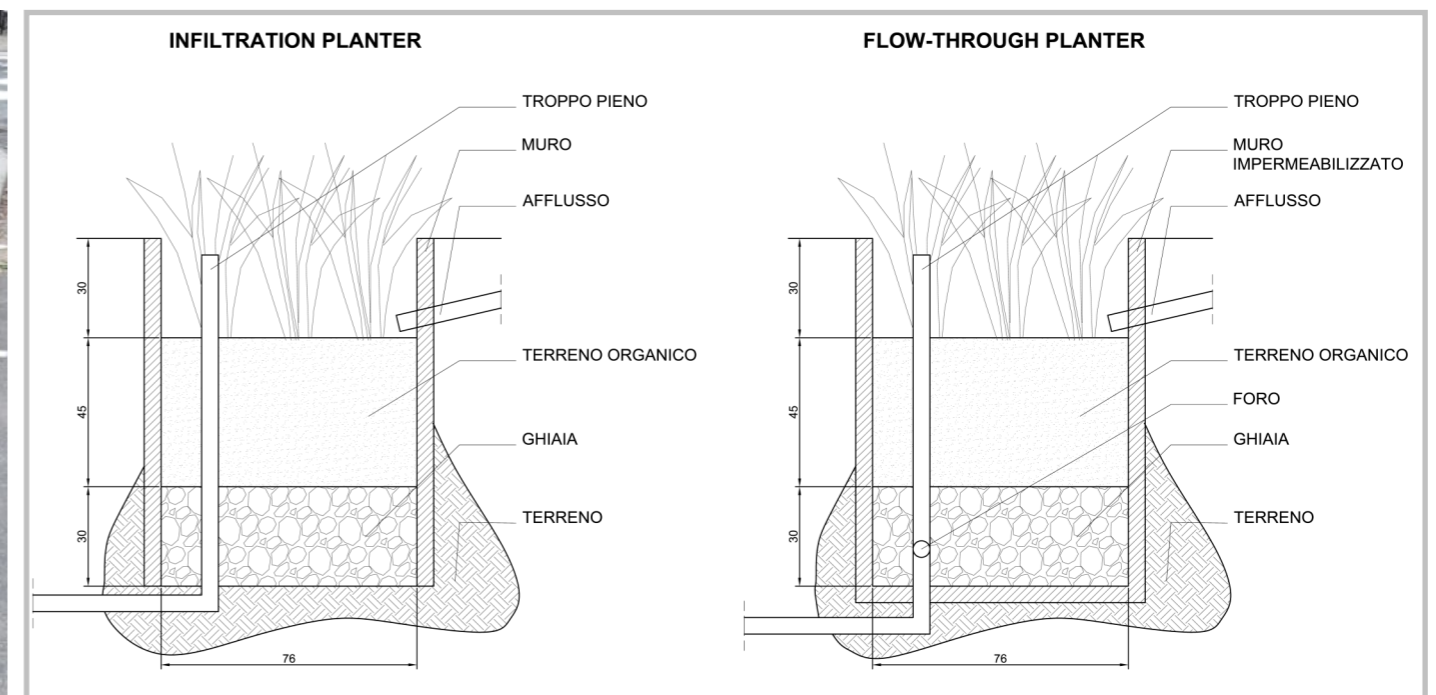


Figura 8 - *Stormwater Planter* in Columbus Square, Philadelphia (PA, USA) (a sinistra). In basso sono riportati due tipologie, rispettivamente *Infiltration Planter* (a sinistra) in cui l'acqua piovana trattata viene infiltrata nel terreno direttamente in falda, e *Flow-Through Planter* (a destra) in cui l'acqua infiltrata viene scaricata in un tradizionale sistema di drenaggio delle acque piovane. Sono in genere composti da uno strato di terreno organico in cui vengono piantumate le specie vegetali, e uno strato di pietrame che permettono la filtrazione dell'acqua piovana. Sono inoltre provvisti di un troppo pieno in modo tale che l'acqua piovana in eccedenza, che non riesce ad essere filtrata, viene scaricata nel sistema fognario.

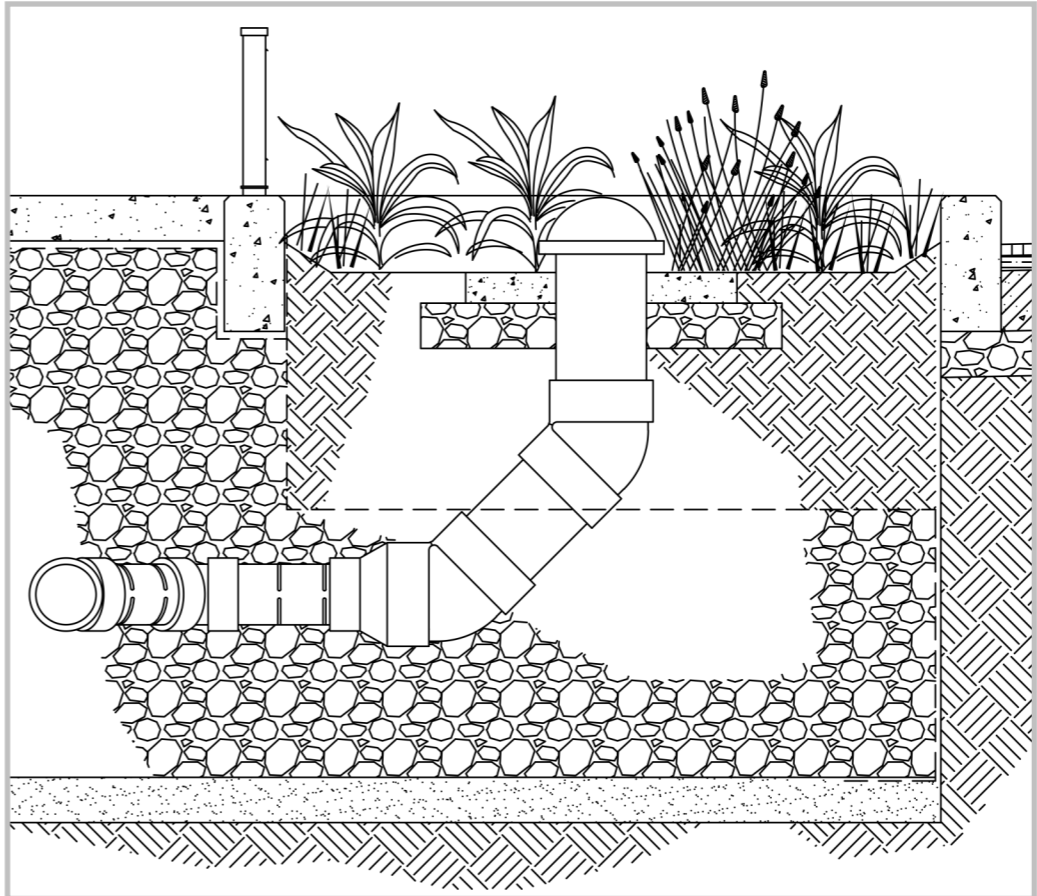


Figura 9 – Stormwater Bump-out in Queen Lane, Philadelphia (PA, USA) (a sinistra). A destra è riportata la sezione tipo di un Bump-out. Essi vengono in genere applicati come celle murate, con una o più aperture verso la strada, consentendo così all'acqua piovana di infiltrarsi nel sistema. Fonte: Philadelphia's Design

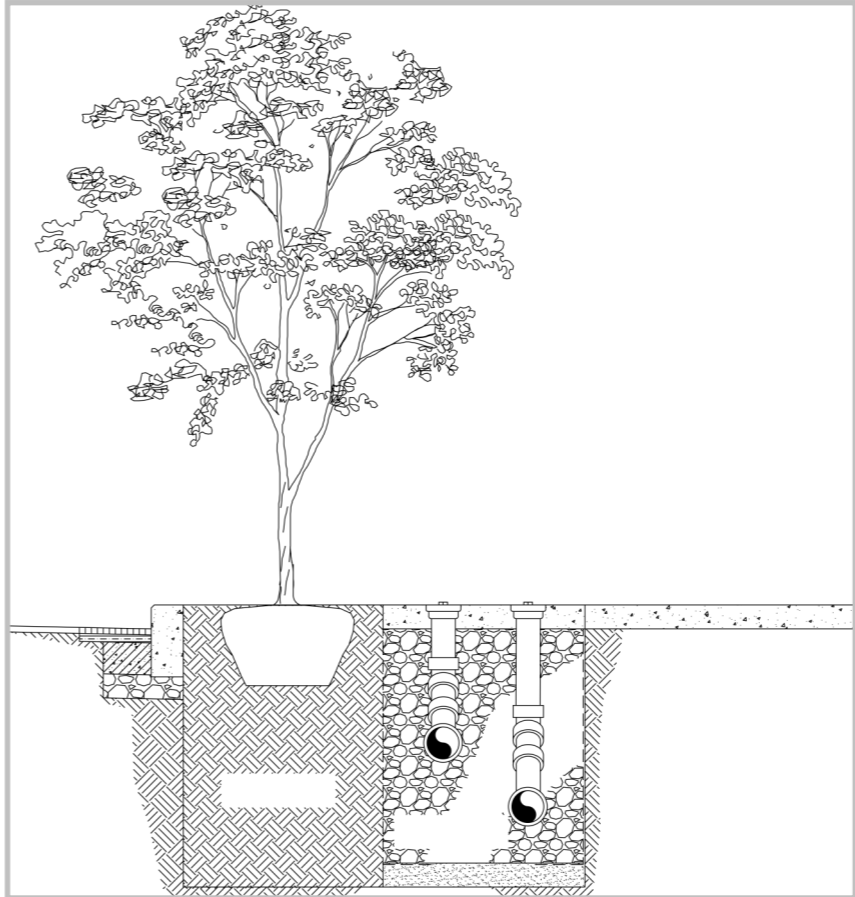


Figura 10 – Esempio di Stormwater Tree in Louisville (KY, USA) (a sinistra). A destra è riportata una sezione rappresentante uno Stormwater Tree. Fonte: Philadelphia's Design

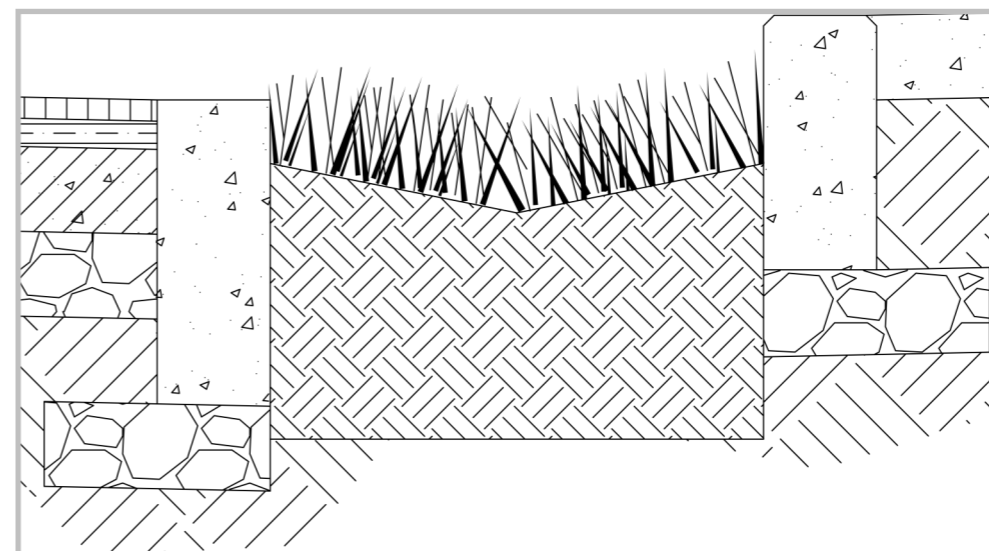


Figura 11 – Green Gutter separa file di parcheggi in un lotto di Juniata Park, Philadelphia (a sinistra). A destra sezione di un particolare costruttivo. La parte superiore del terreno di semina nella grondaia verde è più bassa dell'altezza della grondaia della strada, consentendo al deflusso delle acque piovane sia dalla strada che dal marciapiede di fluire direttamente nel sistema. I green gutter possono essere rivestite con geotessile

(permeabile o impermeabile) e sono comunemente piantate con una varietà di erbe e piante perenni fiorite. L'acqua piovana viene infiltrata nel terreno sottostante e/o rilasciata lentamente nella rete fognaria esistente attraverso un taglio di cordolo a valle. Fonte: Philadelphia's Design.

2.2 Criteri di progettazione in base alle esperienze nord-americane

Le tradizionali infrastrutture idriche raccolgono e convogliano l'acqua piovana da superfici impermeabili, come strade, parcheggi e tetti, in una serie di tubazioni che canalizzano l'acqua piovana non trattata in un corpo idrico locale (fognatura). Al contrario, le GSI sono progettate per imitare la natura e catturare l'acqua piovana dove cade, depurandola e fornendo molteplici vantaggi per la comunità, come:

- ridurre le inondazioni localizzate;
- incoraggiando una maggiore socializzazione di quartiere;
- aumentando i valori delle proprietà e offrendo opportunità di lavoro alle imprese.

Le infrastrutture verdi possono risultare una soluzione ottimale per la gestione delle acque piovane in aree altamente urbanizzate. Le pratiche infrastrutturali verdi possono essere integrate nelle caratteristiche esistenti dell'ambiente costruito, comprese strade, parcheggi e aree ricreative pubbliche come parchi e complessi sportivi. Aumentando le aree verdi negli ambienti urbani, è possibile ridurre il deflusso delle acque piovane, riducendo così il volume di inquinanti, come sedimenti, azoto e fosforo, che entrano nei nostri corsi d'acqua.

Nel 2017, l'*American Society of Civil Engineers* (ASCE) ha pubblicato la sua *Report Card for America's Infrastructure*¹⁵. Essa ha valutato le condizioni e le esigenze delle infrastrutture degli

Stati Uniti utilizzando un formato di pagella scolastica con valutazioni dalla A alla F. I voti vengono assegnati secondo i seguenti otto criteri: capacità, condizione, finanziamento, bisogno futuro, funzionamento e manutenzione, sicurezza pubblica, resilienza, innovazione. ASCE ha valutato, inoltre, 16 categorie di infrastrutture, tra cui: strade, parchi pubblici e attività ricreative, scuole, acque reflue¹⁶. I risultati della valutazione dell'ASCE mostrano che la nazione ha un disperato bisogno di miglioramenti delle infrastrutture. Attualmente, la media cumulativa dei voti dell'America è un D+. Investire nelle infrastrutture è fondamentale per la crescita economica a lungo termine, per aumentare il prodotto interno lordo (PIL), l'occupazione, il reddito familiare e le esportazioni.

Numerose sono le soluzioni tecniche proposte e testate in diverse esperienze delle città americane, fondamentali risorse per migliorare queste pratiche costruttive. Diversi possono essere i criteri di confronto, uno tra questi: il *clima*. Le città lungo la costa occidentale del Nord America presentano precipitazioni discontinue, paragonabili tra loro durante l'anno, anche se con climi diversi, mentre, lungo la costa orientale, con climi più freddi, il contributo meteorico è costante. (Tab. I; fig. 12)

Tramite questi dati è stato possibile indicare le strategie di progetto migliori da utilizzare. Un altro confronto con i manuali tecnici americani è dato dall'adeguatezza delle varie soluzioni studiate da ciascuna città per le sue diverse condizioni interne di insediamento (fig. 13). *Philadelphia* (PA, USA), ad esempio, offre un'interessante matrice di idoneità delle diverse attrezzature per diversi tipi di strade, mentre *San Francisco* (CA, USA) riporta quelle adatte a sette diversi tipi di insediamenti, da residenziale, industriale, a nuovi parchi. Applicando queste tecnologie, si è arrivati, in alcune aree degli Stati Uniti, a miglioramenti che arrivano al 50%, meno

¹⁵ Valente R., *Water Sensitive Urban Open Spaces: Comparing North American Best Management Practices*

¹⁶ Report Card ASCE 2017 per le Infrastrutture Americane

di quelli raggiunti lungo la costa occidentale con una media dell'80% di *Portland* (OR, USA) (Page et al., 2015). La soluzione trovata in alcuni casi è quella di usare superfici più grandi, che possono risultare inattive per un lungo periodo dell'anno. Tuttavia, è opportuno sottolineare il contributo dei servizi ecosistemici offerti e delle prestazioni tecniche specifiche, non solo in relazione alle riduzioni di deflusso ottenute.

city	Climate type (<i>sensu</i> Köppen)	Average temperature (°C)	Average rainfall (mm)
Chicago	Dfa	10,0	918
Toronto	Dfb	8,3	785
Seattle	Csb	10,9	969
Washington	Cfa	13,3	1023
Philadelphia	Cfa	12,5	1113
Boston	Cfa	9,8	1122
Portland	Csb	11,9	1001
San Francisco	Csc	14,1	537
Los Angeles	Csa	18,2	396

Tabella I – Media annua dei dati climatici per le città del Nord America considerate. (Dfsa/b, climi freddi con inverno umido e con una temperatura media del mese più caldo superiore o inferiore a 22 °C; Cfa/b, clima mite umido con una temperatura media del mese più caldo superiore o inferiore a 22 °C; Csa/b, clima caldo e temperato; Csc, clima caldo con estate secca da 1 a 3 mesi sopra i 10 °C). Fonte: “*Water Sensitive Urban Open Spaces: Comparing North American Best Management Practices*”, Valente R.

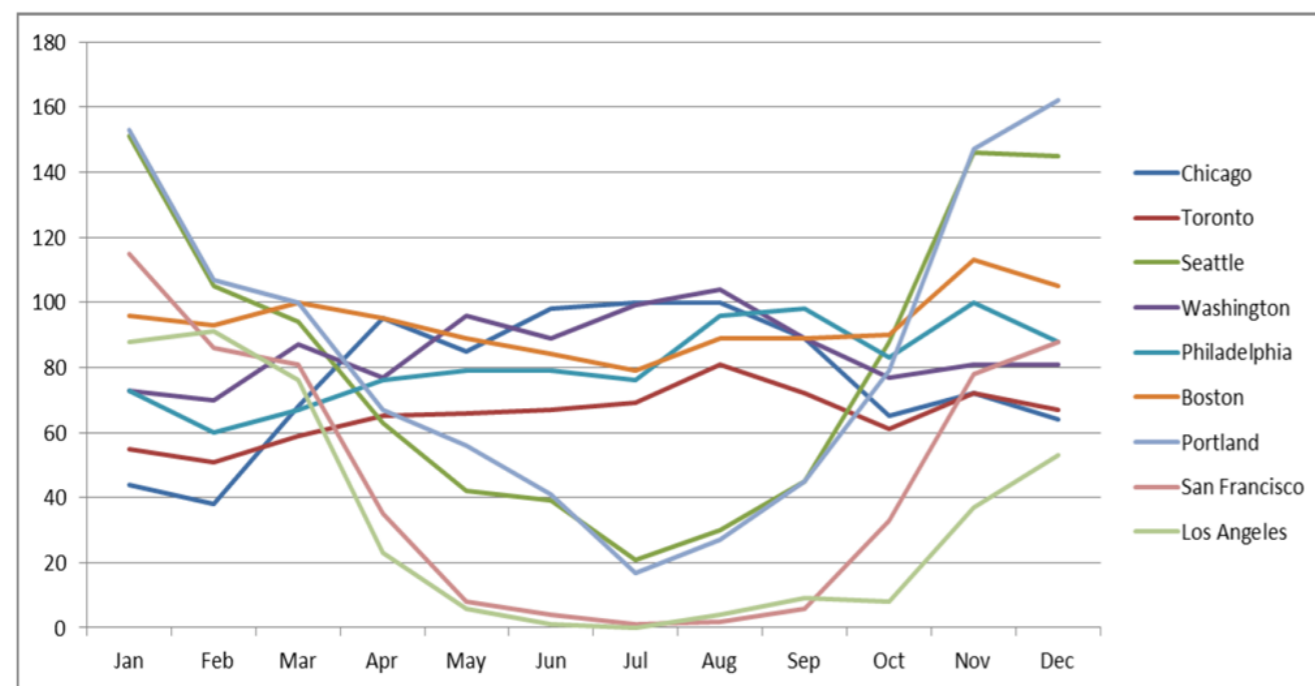


Figura 12 – Curve climatiche annue delle città americane. Fonte: “*Water Sensitive Urban Open Spaces: Comparing North American Best Management Practices*”, Valente R.

	Los Angeles, CA	Portland, OR	S. Francisco, CA	Boston, MA	Philadelphia, PA	Washington, DC	Seattle, WA	Toronto, Canada	Chicago, IL
% of separate sewer	100	60	0	0	33	66	33	77	0
Stormwater Planter	Inf/Flow Thr.	○	Bioretention Pl.	Planter Box	○	○	○	○	○
Permeable Pavement	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Stormwater Bumpout	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Green Gutter	○	Filter Strips	○	Veg. Filter Str.	○	○	○	○	○
Stormwater Tree	○	Tree Credits	○	Tree Box filter	○	○	○	○	○
Stormwater Tree Trench	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Bioswale	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Rain Garden	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Pond	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Constructed Wetland	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Green Roof	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Drainage well	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Stormwater Barrel/cistern	○	RW Harvest.	○	○	○	○	○	○	○
Downspout discharges	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Urban Forest Canopy	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ecopassages	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Green Walls	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Figura 13 – Confronto tra condizioni climatiche e soluzioni tecniche in casi studio considerati. Fonte: “*Water Sensitive Urban Open Spaces: Comparing North American Best Management Practices*”, Valente R.

2.3 Casi di studio delle città americane di Portland, Philadelphia e Seattle

In questo paragrafo, vengono riassunte le esperienze di infrastrutture verdi, ottenute in tre città statunitensi: *Portland, Philadelphia e Seattle*¹⁷.

2.3.1 Portland

La città di Portland, sita a Nord-ovest degli Stati Uniti d'America, ha una popolazione di circa 647 805 persone (censimento 2017), su una superficie di 376 km². La città è attraversata dal fiume Willamette, storicamente soggetto ad esondazioni soprattutto nei mesi invernali, e gran parte di quest'acqua defluisce raccogliendo petroli ed altre sostanze nocive, contaminando le acque fino al fiume Columbia.



Figura 14 – Mappe dei tour delle GSI di quartiere a Portland (portlandoregon.gov/bes/61733)

Per rimediare a questi fenomeni, tra il 1990 e 1995, il *Bureau of Environmental Services* (BES) di Portland ha promosso, in cooperazione con enti locali e imprese, un programma per la gestione delle acque piovane. Questo programma prevedeva l'implementazione di *Best Management Practices* (BMP), i cui principi sono di massimizzare le aree verdi che trattengono e infiltrano le acque piovane in loco e di proteggere le falde sottostanti aumentando i processi di evapotraspirazione, raccolta, riutilizzo e filtrazione delle acque piovane inquinate. Nel triennio 1997-1999, lo *Stormwater Advisory Committee* (SWAC) ha sviluppato norme tecniche e politiche che sono state inserite in un manuale per la gestione delle acque piovane della città, progettato per un utilizzo immediato da parte della cittadinanza, permettendo il calcolo delle soluzioni migliorative ottimali tramite l'adattamento di coefficienti standard in semplici formule.

Nell'aprile 2007, il Consiglio Comunale, per porre rimedio al problema del ruscellamento stradale, approvò una soluzione atta a promuovere l'utilizzo delle *Green Street* raggiungendo diversi obiettivi, quali:

¹⁷ cfr. Bosco R., Ferrara P., "il programma per le greenstreet a Portland", "Philadelphia Green Stormwater Infrastructures" e "la gestione adattiva delle acque meteoriche a Seattle" in Losasso M., Lucarelli M.T., Rigillo M., Valente R. (2020), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il Progetto ambientale*. Maggioli Spa, Santarcangelo di Romagna (RN)

- Ridurre l'acqua piovana inquinata in ingresso nei fiumi e torrenti di Portland;
- Deviare l'acqua piovana dalla rete fognaria limitando le inondazioni dei seminterrati;
- Ridurre la superficie impermeabile in modo che l'acqua piovana possa infiltrarsi per ricaricare le acque sotterranee e superficiali;
- Migliorare la sicurezza di pedoni e biciclette;
- Aumentare lo spazio verde urbano;
- Migliorare la qualità e ridurre la temperatura dell'aria;
- ripristinare e proteggere la purezza dei bacini idrografici;
- Aumentare le opportunità lavorative per i professionisti del settore.



Figura 15 – SW 12h Avenue Green Street, Planter in Portland. *Courtesy of Kevin Perry.*

Queste applicazioni hanno portato diversi benefici alla città di *Portland*, infatti, tra il 2009 e il 2017 sono state realizzate più di 2000 GSI che hanno captato circa 9 milioni di litri di acqua piovana (fig. 14). L'investimento in queste pratiche ha portato alla creazione di 527 posti di lavoro.

Lo *Stormwater Management Manual* (2016) elenca e descrive le tipologie di GSI adottabili nella città di Portland e mette a disposizione dei progettisti gli strumenti necessari per la loro realizzazione. Due delle infrastrutture più utilizzate sono *planters* (fig. 15) e *swales*: i planters raccolgono e infiltrano le acque piovane, trattenendo gli inquinanti grazie a un processo di filtrazione tramite vegetazione, terreno di coltura e ghiaia. L'acqua piovana in eccesso viene canalizzata, tramite un tubo posto alla base della vasca, in un luogo di scarico appropriato. Le *swales* sono depressioni lunghe, strette e leggermente inclinate che raccolgono e convogliano il deflusso

delle acque piovane: la vegetazione e le dighe di controllo della *swale* rallentano, depurano e infiltrano l'acqua nel terreno.

2.3.2 Philadelphia

Philadelphia è una delle città più antiche degli Stati Uniti d'America, e la sesta per popolazione, con 1 580 863 abitanti.

La fornitura di servizi idrici è affidata al *Philadelphia Water Department* (PWD), agenzia municipale della città che provvede al trattamento dell'acqua dei fiumi *Schuylkill* e *Delaware* per renderla disponibile all'utilizzo domestico. Compiti del dipartimento sono la raccolta e il trattamento delle acque reflue e lo stoccaggio e gestione delle acque piovane al fine di evitare sovraccarichi nel sistema fognario. Il PWD è impegnato anche in operazioni di utilità sostenibile attraverso lo sviluppo di diverse iniziative, quali "*Biogas Cogeneration*" e "*Green City, Clean Waters*". Quest'ultimo è un piano, della durata di 25 anni, che ha come obiettivo di proteggere e migliorare i bacini idrografici tramite modelli di gestione delle acque piovane basato sulle *Green Stormwater Infrastructures* (GSI) (fig. 16). Le sfide principali che affronta questo programma è quello riguardante l'invecchiamento degli impianti e l'impatto del cambiamento climatico sulla salute umana, ma il fattore principale è la riduzione del *Combined Sewer Overflow* (CSO): in seguito ad eventi intensi, come grandi temporali, il flusso combinato di acque nere e acqua piovana può superare la portata massima del sistema fognario, causando la fuoriuscita dei liquami e lo scarico diretto di rifiuti umani e industriali in fiumi, corsi d'acqua e altri bacini con gravi conseguenze ambientali ed economiche. Per regolare il processo progettuale delle infrastrutture, il PWD ha adottato un indicatore, il *Greened Acre* (GA), che rappresenta l'area di deflusso dell'acqua piovana (Area Colante) che viene gestita da una GSI anziché essere immessa nel sistema fognario. Un GA viene calcolato come:

$$GA = IC \times W_d$$

dove:

- IC è la superficie impermeabile utilizzata dalla GSI;
- W_d è la profondità dell'acqua sopra la superficie impermeabile che può essere fisicamente immagazzinata nell'impianto.

I benefici ottenuti dalle GSI consistono in un:

- miglioramento della qualità dell'acqua (37%) dal 2009 al 2016;
- miglioramento del valore delle proprietà (20%);
- aumento delle attività ricreative (18%).

Il *Philadelphia Water Department* mette a disposizione, on line sul proprio sito web, i dettagli di progetto delle GSI: *Stormwater Drainage*, *Green Gutter*, *Permeable Paviment*, *Stormwater Bump-out*, *Planter*, *Stormwater Tree*, *Tree Trench*. Tra queste, le più utilizzate nei progetti di retrofit delle strade di Filadelfia sono i *Bump-out* e i *Tree Trench* (fig. 17).

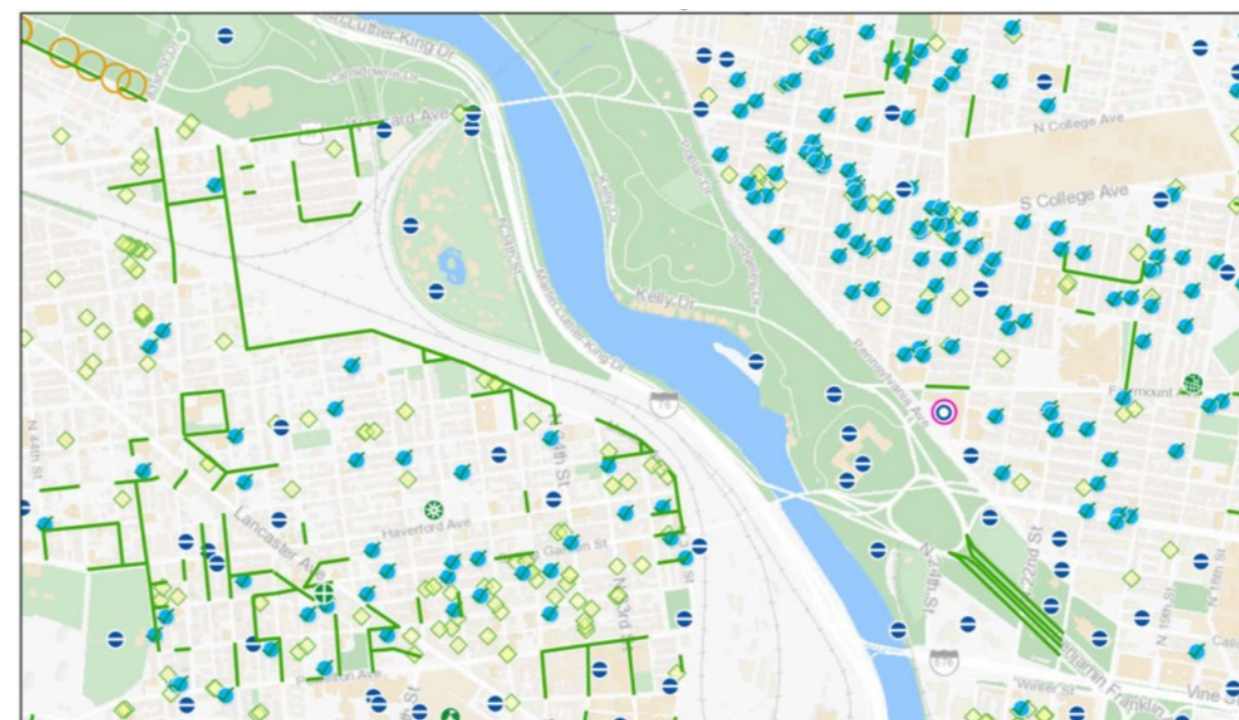


Figura 16 – Mappa delle GSI della città di Philadelphia (<http://phl-water.maps.arcgis.com/>)



Figura 17 – Shissler Recreation Center, Tree Trench, Città di Philadelphia (*City of Philadelphia Green Streets Design Manual*).

2.3.3 Seattle

Seattle sorge sulla costa occidentale degli Stati Uniti d'America, nello stato di Washington, ed è la città più grande sia nello stato di *Washington* sia nella regione Nord-Ovest del Pacifico dell'America del Nord. I primi impianti delle GSI risalgono al 1999, e oggi rappresentano una componente chiave dell'infrastruttura di servizi tradizionali di Seattle, gestendo le piogge in modo naturale, eliminando l'inquinamento e consentendo all'acqua di penetrare nel terreno (fig. 18). Oltre all'aspetto tecnico, la loro presenza ne determina un aumento di valore a fronte di costi assolutamente comparabili con quelli dei sistemi convenzionali.

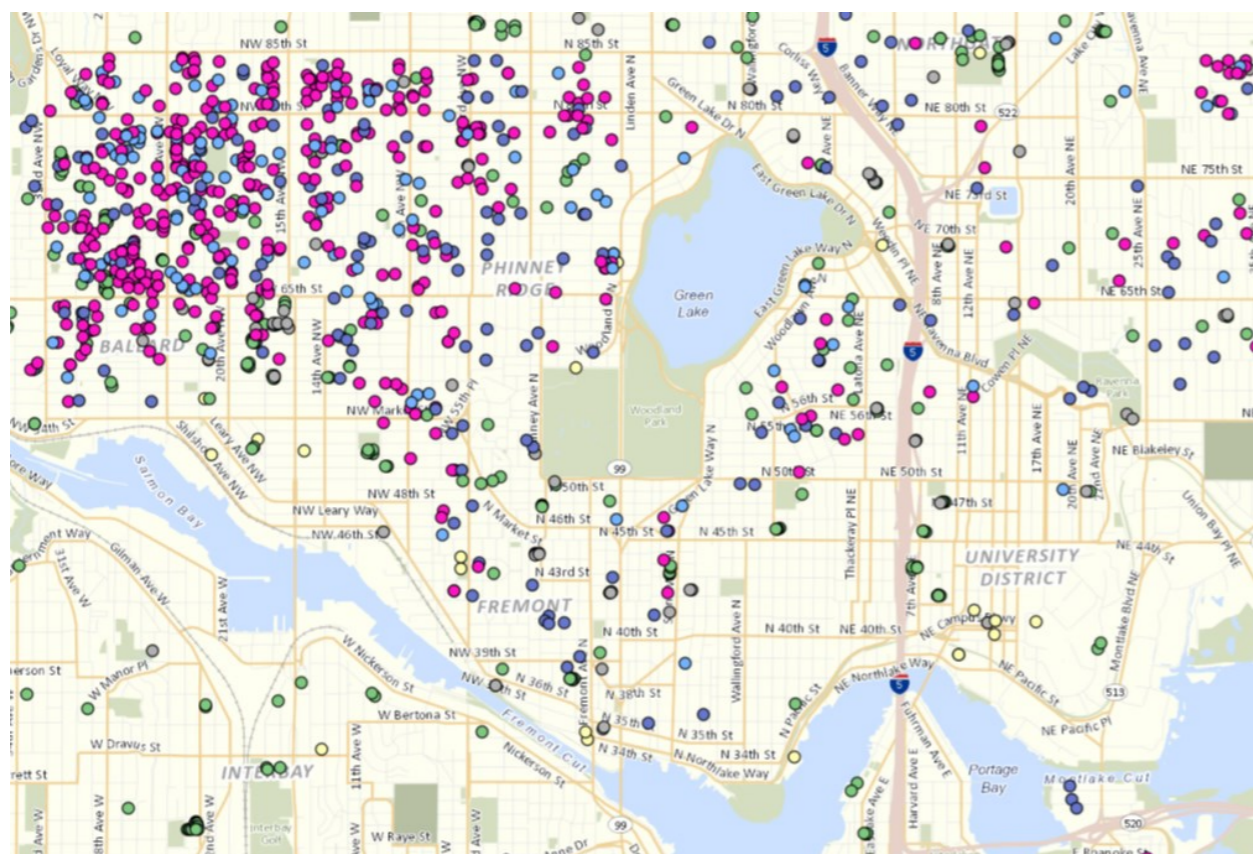


Figura 18 – Stralcio della mappa delle GSI di Seattle (700milliongallons.org/gsi-around-you/)

L'obiettivo base dei sistemi di drenaggio della città di *Seattle* è quello di ridurre il picco ed il volume di *runoff* (deflusso) di un evento di pioggia con periodo di ritorno di 25 anni/24h ($0,168 \text{ in/h} = 4,27 \text{ mm/h}$), tendendo al miglioramento del drenaggio in situ e della qualità dell'acqua secondo i nuovi standard cittadini, salvaguardando così anche i torrenti e la fauna acquatica in essi presente. Si prevede, inoltre, di migliorare le infrastrutture locali realizzando nuove pavimentazioni, sia carrabili che pedonali, anche con lo scopo di aumentare la sicurezza dei pedoni e dei ciclisti.

Nella città di Seattle sono stati adottati due approcci chiave, quali:

- la quantità di spazio occupato per gallone gestito: indicatore di efficienza particolarmente rilevante in luoghi con spazi ristretti, come i lotti urbani in ambiti ad alta densità;
- il capitale più il costo operativo a lungo termine per gallone gestito: secondo è molto diffici-

le da standardizzare nella moltitudine di strutture GSI e di applicazioni specifiche di progetto.

Le strategie GSI, come la *bioretention* (fig. 19) e la *pavimentazione permeabile*, sono infatti progettate per soddisfare obiettivi di prestazione delle acque piovane variabili e specifici del luogo, regolando di conseguenza le componenti di progettazione come la profondità dell'impianto.

Il costo per volume medio annuale rimosso è quindi un importante punto di riferimento per valutare quali pratiche da utilizzare. La Tab. II riassume il costo per gallone gestito per due strategie GSI: *bioretention* e piantumazione di alberi.



Figura 19 – Bioretention lungo il bordo stradale di Sylvan Way, Seattle (*Seattle GSI Manual, volume III*).

Dal 2013, il Consiglio Comunale ed il Sindaco forniscono le linee guida per la realizzazione delle GSI, con l'obiettivo di arrivare a gestire, tramite esse, 700 mln di galloni d'acqua l'anno. A questo scopo è stato creato il sito "*700 Million Gallons*", in cui vengono descritte le tipologie di GSI e i benefici da esse derivanti, quindi le metodologie e gli strumenti a disposizione dei cittadini per realizzarle sulle loro proprietà.

	Investimento di capitale Costo/Gallone gestito	Operazioni+ Costo di manuten- zione/gallone gestito
Bioretention	0.50 – 1.30 \$*	0.009 – 0.012 \$
New Street Trees	2.78 \$**	0.76 \$
*Il costo minimo si riferisce alla sola bioritenzione. Quello massimo comprende altri miglioramenti (marciapiedi, rampe di accesso, ricostruzione della carreggiata ecc.) **Comprende i costi di capitale e tre anni di manutenzione legata alla stabilità.		

Tabella II – Costo per gallone gestito nei ROW¹⁸ (Fonte: *Green Stormwater Infrastructure in Seattle, 2025 Implementation Strategy*).

2.4 Adattamento al cambiamento climatico in Italia

Le città italiane sono in ritardo nel disporre piani di adattamento ai cambiamenti climatici sia per eventi piovani bruschi ed improvvisi (bombe d'acqua), che stanno crescendo sempre di più in numero e intensità, sia per le ondate di calore, che si verificano durante la stagione estiva, caratterizzate da temperature elevate al di sopra dei valori usuali, che possono durare giorni o settimane. Sempre più in Italia sono presenti, soprattutto nei periodi estivi, fenomeni di vere e proprie alluvioni nei centri urbani. Tra questi si citano le alluvioni di Torino (18 Agosto 2020), Rimini (25 Giugno 2013), Palermo (15 Luglio 2020), Napoli (05 Agosto 2020) che hanno procurato danni ingenti sia alle infrastrutture stradali che a quelle private e in alcuni casi provocando vittime.

Nell'aprile del 2013, l'UE ha adottato la *Strategia di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*, nella quale sono definiti principi, linee-guida e obiettivi della politica comunitaria, con lo scopo di promuovere visioni nazionali per la gestione dei rischi naturali. In Italia il primo passaggio è stato la pubblicazione della *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (SNAC). Per dare attuazione a tale decreto direttoriale, a maggio 2016 è stata avviata l'elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC). Il PNACC è il risultato di un processo di dialogo, coinvolgimento e interazioni multi-settoriali fra enti, territori, decisori politici, esperti e ricercatori, con l'obiettivo ultimo di identificare un set di attività connesse e sinergiche per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

*“Il Piano definisce macroregioni climatiche omogenee per le aree terrestri e per le aree marine, ossia porzioni di territorio aventi condizioni climatiche simili durante un periodo storico di riferimento, e identifica, al loro interno, aree che in futuro dovranno fronteggiare anomalie climatiche simili. Tali aree nel presente documento sono chiamate aree climatiche omogenee.”*¹⁹

Da un articolo tratto dalla rivista *“Altreconomia”* di Usuelli M., si evince che le università italiane, in merito all'adattamento al cambiamento climatico, stanno mutando la loro offerta formativa, inserendo nuovi master, corsi e insegnamenti. Esempi di avanguardia nell'offrire corsi di studio e master del tutto inediti in Italia e in Europa sono le città di Roma, Torino, Venezia e Bologna.

In Campania l'Università di Napoli *“Federico II”* e l'Università degli Studi della Campania *“Luigi Vanvitelli”* lavorano, anche grazie all'aiuto di vari esperti, sulla valutazione degli impatti legati ai cambiamenti climatici locali e all'analisi delle strategie urbane in materia di cambiamento climatico²⁰.



Figura 20 – Alluvione di Palermo, 15 Luglio 2020, Fonte: articolo dei *“Nuovi Vespri”*.

¹⁸ ROW: Diritto di passaggio Pubblico

¹⁹ Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

²⁰ Nel volume *Environmental Design for Climate Change*, dei docenti D'Ambrosio V., Leone M.F. della *“Federico II”*, vengono presentati gli esiti della seconda fase del progetto di ricerca *“Metropolis-Metodologie e tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza di sistemi urbani”* (PONREC 2007/2013), che definisce un quadro di strumenti ed indirizzi per la riduzione dei rischi climatici, utili per sviluppare processi metodologici e operativi necessari al controllo prestazionale degli interventi a diverse scale, a partire dalla modellazione delle caratteristiche di vulnerabilità del sistema urbano e dalla simulazione di scenari di impatto climatico.

Un ulteriore gruppo di studi, coordinato dalla docente Valente R., della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi della Campania *“Luigi Vanvitelli”*, nell'ambito di un progetto di ricerca PRIN 2015: *“Adaptive design e innovazioni tecnologiche per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di cambiamento climatico”*, sperimenta nel meridione d'Italia, in un tratto compreso tra le città di Aversa e Melito, un modello di applicazione di gestione sostenibile delle acque meteoriche stradali con l'applicazione delle GSI, che caratterizzano efficaci realizzazioni di *green street* nel continente nord-americano, offrendo un contributo al territorio per la riqualificazione e protocolli tecnici originali per i centri dell'Italia Meridionale.

3. Prin 2015: Studio per l'adattamento climatico in ambito urbano del tratto Aversa-Melito²¹

3.1 Introduzione

Nel progetto di ricerca Prin 2015 “*Adaptive Design e Innovazioni Tecnologiche per la Rigenerazione Resiliente dei Distretti Urbani in Regime di Cambiamento Climatico*”, il gruppo di ricerca del dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi della Campania “*Luigi Vanvitelli*”, coordinato dalla Professoressa Renata Valente, sperimenta la riprogettazione di un tratto della Strada Statale 7 bis, soggetta ad allagamenti con cadenza media biennale ed esiti feroci. Si è quindi studiata una *green street*, che attraverso dispositivi di *Green Stormwater Infrastructure* (GSI) hanno lo scopo di ridurre l'impermeabilizzazione del suolo urbano, diminuire gli effetti dovuti dall'isola di calore urbano e delle alte temperature, migliorare la qualità urbana e suburbana e aumentare il valore delle proprietà vicine. Il gruppo di ricerca abbraccia competenze di progettazione ambientale, botanica, geologia, geomorfologia, storia della città, ingegneria idraulica, civil design, design.

3.2 Inquadramento territoriale

L'area di studio è ubicata a nord di Napoli e comprende i comuni di Melito (NA), Sant'Antimo (NA), Giugliano in Campania (NA) ed Aversa (CE). Storicamente quest'area fu interessata da pericolosi eventi di esondazione, essendo essa compresa nella pianura alluvionale del Clanio, fiume regimato dal XVI secolo. I fenomeni di allagamento, pericolosi per l'incolumità di persone e beni, sono accentuati sia dallo sviluppo urbano incontrollato determinando consumo di suolo ed impermeabilizzazione dei terreni, sia dall'assenza o insufficienza della rete fognaria. Lo studio del PRIN è stato quindi concentrato sul tratto dell'arteria tra il confine del centro storico di Melito e quello di Aversa, asse lungo cui si concentrano più fenomeni critici, il cui dislivello topografico è di circa 40 m s.l.m (Fig. 21).

Il comune di Giugliano dista circa 13 km da Napoli e, con i suoi circa 94 kmq di superficie, risulta essere il comune non capoluogo più popoloso d'Italia (125.000 abitanti ca.). Il suo territorio si estende dall'entroterra fino al mare e al suo interno si articola un sistema infrastrutturale piuttosto complesso che comprende tra le altre la via Domitiana, la tangenziale A56, la Strada Statale 7Bis e la Strada Provinciale SP1 che si raccordano con le autostrade offrendo agevoli collegamenti con i paesi limitrofi e i capoluoghi regionali.

Melito è un comune densamente abitato situato a nord di Napoli. Anticamente piccolo centro a vocazione agricola, ha rappresentato uno sfogo per la crescente densità abitativa napoletana, diventando in breve tempo uno dei comuni col maggior rapporto di abitanti per chilometro quadrato d'Europa (9893,43 ab/km²). Il repentino popolamento non è stato assorbito dal territo-

rio che attualmente soffre le piaghe del traffico caotico e della scarsità di servizi.

Sant'Antimo si è sviluppato tra la Strada Statale 7Bis e la linea ferroviaria Napoli-Foggia. Il comune è stato centro agri-colo di primaria importanza fino alla metà del XX secolo ma, a partire dagli anni 70, una forte speculazione immobiliare ha strozzato le possibilità di uno sviluppo realmente produttivo.

Aversa, con i suoi 51.925 abitanti, è la seconda città della provincia di Caserta ed è posizionata al centro della vasta area pianeggiante e rurale dell'antica Terra di Lavoro, tra la via Campana e la via Atellana. La recente, estesissima periferia è costituita da isolati giganteschi delimitati da strade di sezione inadeguata su cui confluiscono tutti i traffici (e le soste) di attraversamento, di scorrimento e locali. Inoltre, la mobilità è fortemente limitata dalle barriere ferroviarie, attraversate soltanto da antichi ed obsoleti sottopassi, di caratteristiche e dimensioni inadeguate.

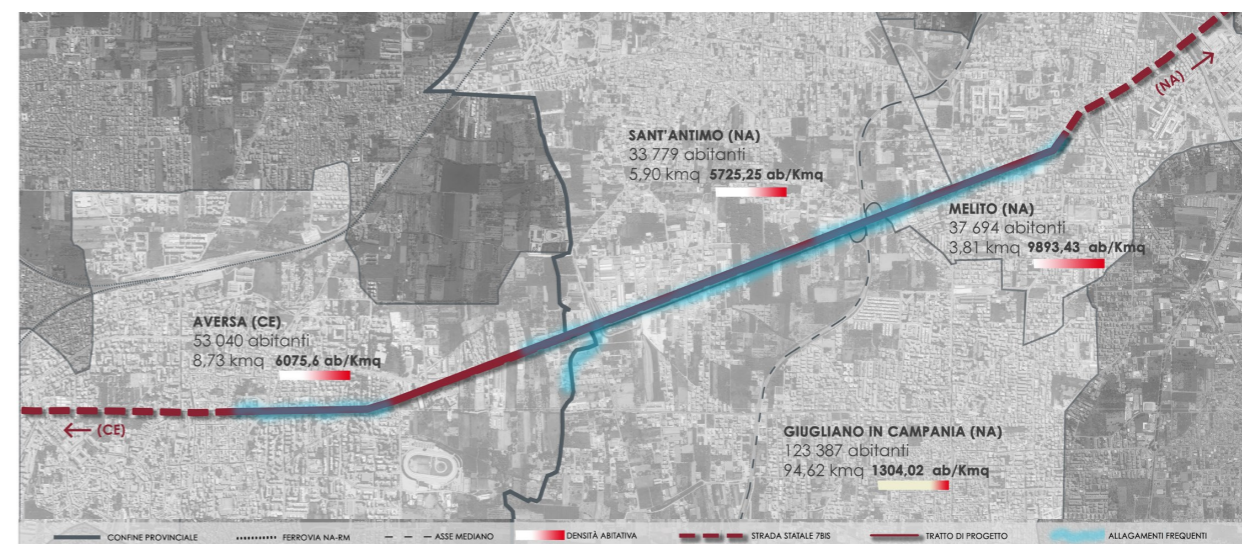


Figura 21 – Tratto dell'arteria stradale campana studiata nel PRIN 2015. Fonte: “*Green street framework per aree urbane marginali mediterranee*”.

3.3 Analisi storica

La ricostruzione storica dell'area, a cura della Prof.ssa Carolina De Falco, ha dimostrato come in epoca angioina l'asse stradale in esame ha spostato la crescita urbana di Aversa da Sud a Nord, determinando un cambiamento viario rispetto all'antica Via Campana in quanto risultava “*incomodissima e dannosa ai viaggiatori, i quali non trovano taverne, né luoghi per riposarsi*” (Amirante, 1998, p. 140).

Attraverso i vari documenti cartografici, il gruppo di ricerca è stato in grado di rintracciare elementi per studiare l'evoluzione dell'insediamento e i fenomeni ambientali preesistenti. Infatti, nella mappa del Cartaro si individuano gli abitati di Melito, Aversa, Sant'Antimo e Tugliano (Giugliano), la strada tra Aversa e Melito con il simbolo del ponte a tre arcate, e non essendovi dislivelli di quota da superare, la carta indica la presenza di acqua lungo il tracciato. Inoltre, il catasto onciario del 1753 riporta l'esistenza di un rivolo d'acqua che scendendo dai Camaldoli e passando per Licoda (via di Giugliano) diventava assai pericoloso in caso di forti precipitazioni. Si è scoperto poi che dal 1794 manca o la dicitura o il disegno del ponte in questione; la spiega-

²¹ Bologna R., Losasso M., Mussinelli F., Tucci F. (2021), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico*, Maggioli Editori, Santarcangelo di Romagna (RN). pp. 206-249

zione può essere un nuovo regime idraulico determinato dai Regi Lagni o il progressivo riempimento dell'alveo con depositi alluvionali.

Il gruppo di ricerca ha ottenuto informazioni su fenomeni pericolosi da cui difendersi, ma anche su beni culturali pur minori di cui la collettività può giovare, in base alle analisi storiche, car-tografiche e ambientali, che hanno restituito una duplice evidenza: da una parte le ricorrenze delle alluvioni nella zona prima dell'insediamento; dall'altra la presenza di emergenze edilizie, ponti ed infrastrutture, masserie, posti di guardia e edifici di culto, oggi trascurati, che tuttavia fanno parte della storia e della tradizione dei luoghi da recuperare.

3.4 Analisi fluidodinamica

La lettura delle cartografie storiche e topografiche ha permesso di ricostruire il pattern del reticolo idrografico, mascherato dall'intensa urbanizzazione, identificando solchi di ruscellamento e incisioni sub-rettilinee a carattere torrentizio, dissecate dalle acque meteoriche nelle formazioni vulcaniche ed oggi in parte regimate. Con riferimento all'importazione delle metodologie adottate, la mappa dell'infiltrabilità, effettuata tramite l'apporto dei GIS, sull'esempio della città di Seattle, individua le aree idonee all'infiltrazione combinando la conoscenza della distanza tra il piano di campagna e la falda acquifera con la ricostruzione della stratigrafia, per mostrare i tempi di percorrenza dell'acqua. Tali informazioni sono state riportate su differenti *layer*, in modo tale da elaborare un algoritmo per calcolare un punteggio sulla cui base classificare il territorio in classi di infiltrabilità ed individuare le aree in cui è possibile ricaricare la falda. Questa definizione di micro-bacini ha consentito di disporre i dispositivi GSI in base alle quantità necessarie.

Il tratto in esame, lungo 5.5 km, è interessato dalle acque meteoriche provenienti da un'area di 2.18 km², condivisa dai comuni di Aversa (0.52 km²), S. Antimo (0.12 km²), Giugliano (1.31 km²), Giugliano (1.31 km²) e Melito (0.23 km²).

3.5 Analisi climatica

Il clima che interessa l'area in esame è di tipo mediterraneo, con inverni miti ed estati calde. Questo dato è sempre più discutibile negli ultimi anni, in quanto le condizioni climatiche sono molto instabili, dove si verificano sbalzi termici molto grandi, a volte con temperature invernali al di sotto dello 0 °C, accompagnato da forti scrosci di pioggia. Ma più interessante e preoccupante è la situazione estiva/autunnale, dove da una parte, si riscontrano estati aride e calde, accompagnate da momentanee e feroci bombe d'acqua, causanti danni e malcontenti nella società.

In riferimento alla zona d'esame, sono numerosi i fenomeni di pioggia nei periodi di massima siccità, causanti allagamenti stradali (fig. 22), sia in quanto manca la manutenzione delle feritoie stradali, sia per la sottodimensione delle fognature, ormai obsolete per questi fenomeni.

Per quanto riguarda l'analisi effettuata, sono stati ricavati per ogni zona interessata i dati climatologici necessari per avviare un'analisi dettagliata. È stato riscontrato che il clima in oggetto è *mediterraneo di tipo csa* (sensu Köppen), e che la coincidenza del picco annuale delle temperature coincide con il periodo di maggiore aridità, dovendo quindi studiare la scelta di botaniche specifiche (fig. 23).



Figura 22 – Allagamento stradale dovuto ad una bomba d'acqua delle città di Aversa (sx), e della città di Giugliano in Campania (dx). Da notare nella fig. sx che il volume d'acqua di pioggia è talmente elevato da coprire in totale i marciapiedi e con molta probabilità causando allagamenti anche nei negozi al piano strada.

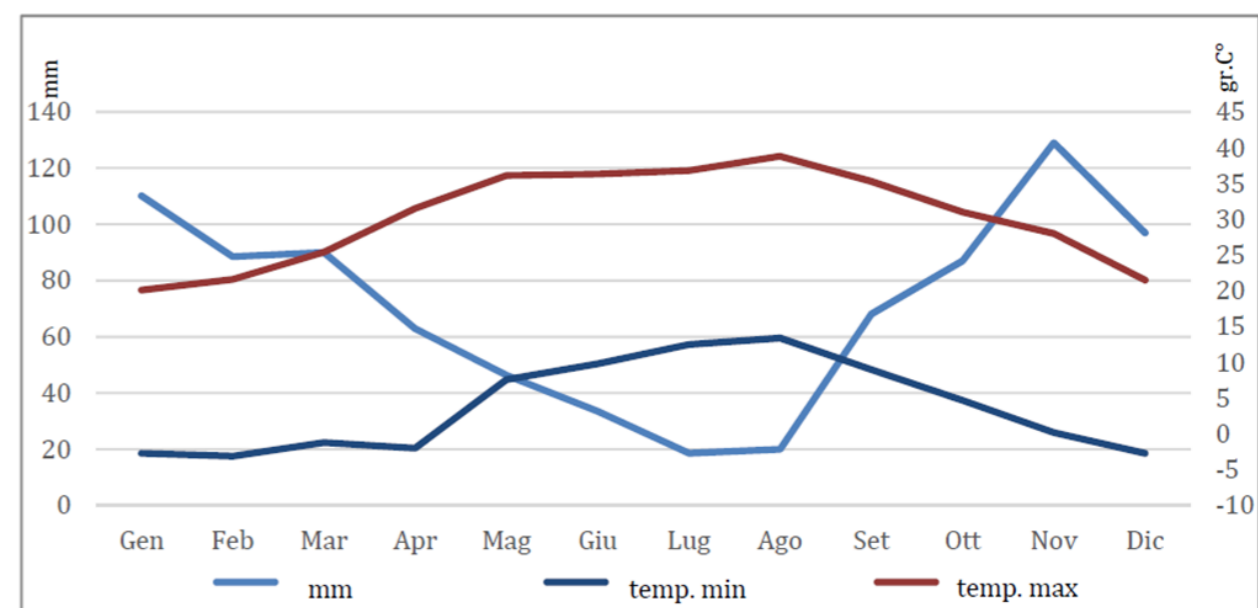


Figura 23 – Confronto tra l'andamento delle precipitazioni annuali e le temperature minime e massime nell'area. (Dati elaborati da C. Donadio nel 2018). Fonte: "Enforceability and Benefits of Mediterranean Green Streets", p.50.

3.6 Studio della vegetazione

Attraverso il confronto con le condizioni di partenza è indispensabile il contributo dell'apparato vegetale al miglioramento delle condizioni di benessere nei luoghi in esame oltre che in termini controllo delle acque meteoriche. Il sistema di alberature è stato studiato con il software *I-Tree Street*, che quantifica in denaro (\$/alberi) i benefici che l'insieme vegetale produce in riferimento alla riduzione ed all'immagazzinamento della CO₂, alla concentrazione degli inquinanti nell'aria prossima, al rallentamento del deflusso in fogna delle precipitazioni, al valore paesaggistico del contesto. La procedura è stata attivata dopo aver censito l'intero sistema delle alberature stradali nell'area di studio (fig. 24), secondo i parametri utili al programma.

L'analisi puntuale ha evidenziato che le piante presenti (322 esemplari) sono insufficienti, qualche volta improprie e spesso di troppo recente piantumazione per poter apportare benefici tangibili. Marginale è anche il contributo di qualificazione paesaggistica in uno scenario edilizio compromesso, a cui gioverebbe una presenza omogenea capace di connotare l'ecosistema visivo. La ricerca prevede l'incremento deciso del numero degli alberi, aggiungendo filari e concentrazioni boschive con l'inserimento di un limitato numero di specie scelte per massimizzare gli effetti benefici di moderazione degli scorrimenti nella stagione delle piogge più energiche.

Una nuova presenza di alberi con chiome uniformi, fitte e persistenti su ambo i lati della carreggiata è un segnale urbano efficace, anche come cono percettivo dopo una galleria di edificazione degradata.



Figura 24 – Censimento della vegetazione presente nell'area di studio. Fonte: PRIN 2015

Nel preparare progetti specifici, sono stati definiti i caratteri delle specie vegetali da impiegare per i migliori risultati nel rallentamento dei flussi di acqua, confermando che le chiome con fogliame più intenso sono più utili a frenare la velocità della pioggia diretta al suolo.

Una soluzione ottimale si può ottenere piantumando con specie a rapido sviluppo e disponibili alla potatura energica; la ricerca individua nelle latifoglie a chioma fitta il soggetto privilegiato da piantumare adulto con sesto di impianto ridotto e da regolare, per ottenere chiome cilindriche e ravvicinate di peculiare caratterizzazione formale. Il risultato complessivo risulta comunque significativo per l'abbattimento degli inquinanti aeriformi, riduzione delle temperature e aumento del benessere per l'azione ombreggiante (fig. 25).

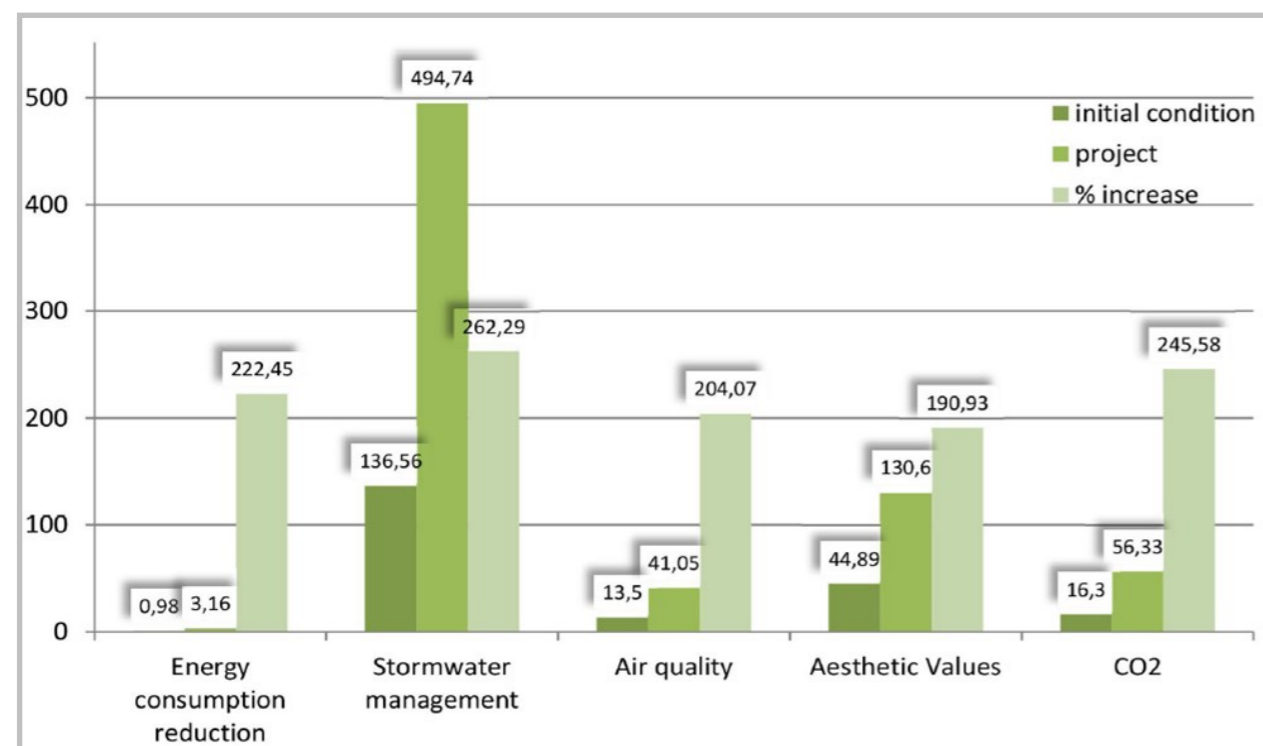


Figura 25 – Benefici degli alberi su suolo pubblico su base annuale (\$/albero); confrontati tra lo stato attuale e quello di progetto nell'area pilota 1 (da I-Tree Street). Fonte: "Enforceability and Benefits of Mediterranean Green Streets", p.50.

3.7 I progetti dimostratori sulle aree campione e considerazioni sugli esiti della ricerca

Nel progetto di ricerca, in base a criteri idrologici, insediativi e fruitivi, utilizzando la perimetrazione dei gruppi di micro-bacini sono stati condotti sei approfondimenti. Per tali aree campione sono state effettuate analisi ambientali sia in merito ai rilievi con calcolo di superfici permeabili e mappe di protezione solare (fig. 26), sia calcoli di R.I.E. e B.A.F. (Tab. III) che modellazioni virtuali con il software ENVI-MET (configurato per il giorno più caldo del 2018 – 31 luglio secondo i dati forniti dall'ARPA- velocità del vento a 10 m dal suolo), confrontando queste ultime con gli esiti delle simulazioni realizzate con il software *I-tree Street*, per verificare la riduzione dei livelli di vulnerabilità e la capacità rigenerativa urbana.

Dal confronto dei vari valori degli indicatori specifici e dai risultati ottenuti dalle modellazio-



Figura 26 – Mappa di Protezione Solare dell'area campione Aversa Annunziata. Da sinistra, equinozio di primavera, solstizio d'estate, solstizio d'inverno. Fonte: PRIN2015.

STATO DI FATTO							
Area Campione	Superficie trattata a Verde (m ²)	Alberi 4 - 12m	Alberi 12 - 18m	Alberi > 18m	Superficie non trattata a Verde (m ²)	RIE	BAF
Annunziata Aversa	3351,1	89	43	15	54488,65	0,66	0,134
Ponte Mezzotta	15626	30	1	2	43475,21	2,55	0,272
Colonne di Giugliano	1080	35	10	24	43447,3	0,38	0,103
Chiesa di S. Nicola (Giugliano)	400	13	0	0	6714	0,69	0,139
Metro di Giugliano	5145	35	1	0	24390	1,78	0,191
PROGETTO DIMOSTRATORE							
Area Campione	Superficie trattata a Verde (m ²)	Alberi 4 - 12m	Alberi 12 - 18m	Alberi > 18m	Superficie non trattata a Verde (m ²)	RIE	BAF
Annunziata Aversa	7892,32	267	43	15	52891,65	1,57	0,22
Ponte Mezzotta	18086,4	150	1	2	43475,2	2,97	0,35
Colonne di Giugliano	2690	100	10	24	40537,3	0,84	0,154
Chiesa di S. Nicola (Giugliano)	753	37	0	0	6361	1,35	0,253
Metro di Giugliano	5760	93	1	0	22615	2,18	0,235

Tabella III – R.I.E. e B.A.F. dello stato di fatto e dei progetti nelle rispettive aree campione. Fonte: PRIN 2015.

ni (tra i quali PMV, temperatura Potenziale, superficiale e media radiante), sono stati individuati spazi dove aumentare la presenza di alberi ad alto fusto e modificare materiali delle pavimentazioni stradali per migliorare le condizioni esistenti nel prevedere l'installazione delle GSI (fig. 27).

Dai risultati ottenuti dal gruppo di ricerca si evince che i valori ricavati per i quattro comuni mostrano percentuali più elevate di GSI, e questo indica che "l'avvio della realizzazione di tali dispositivi meno onerosi porterebbe in breve tempo a risultati molto positivi".

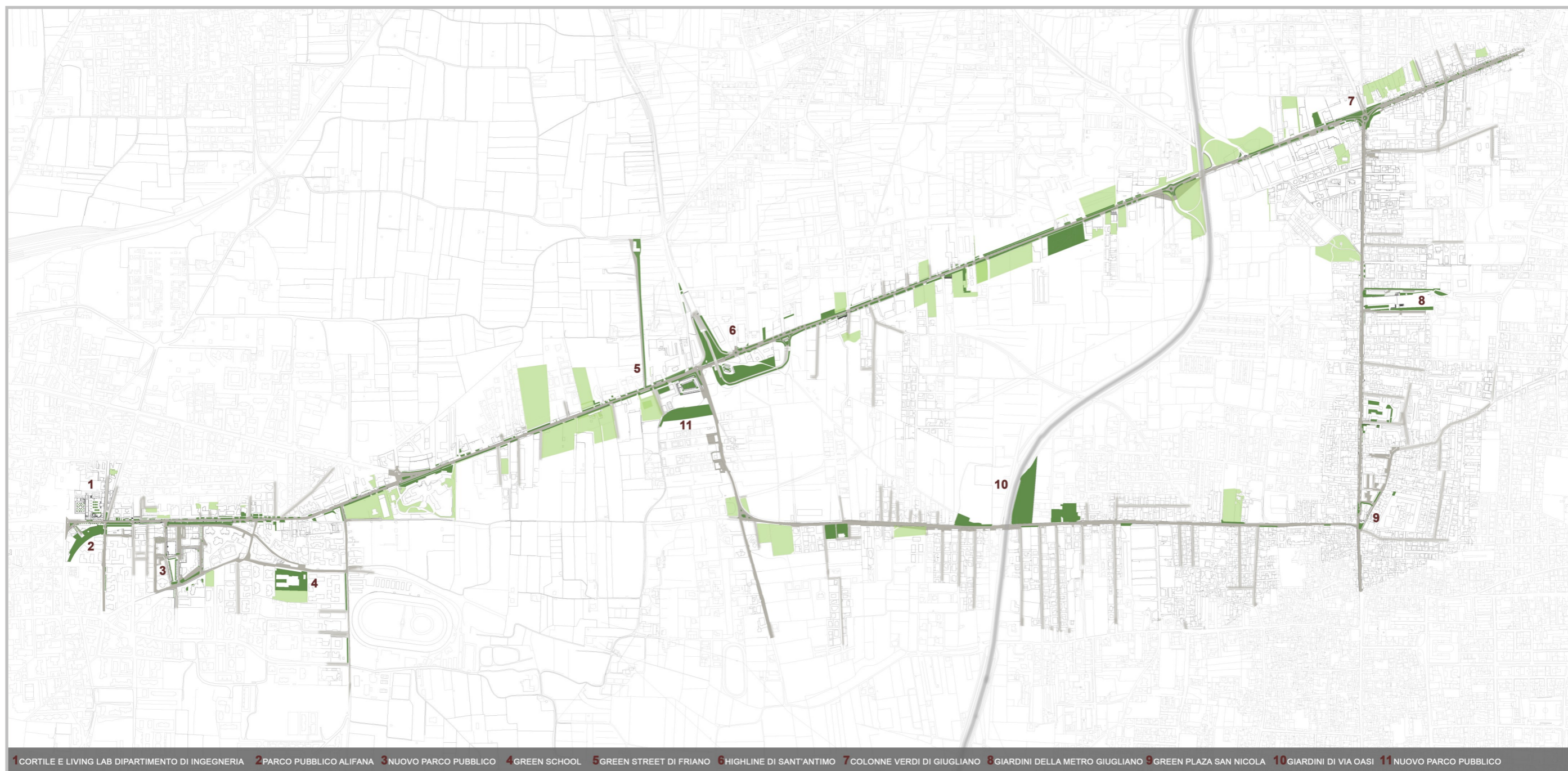


Figura 27 – Area di studio e planimetria dei Progetti dimostratori. Fonte: PRIN 2015

I risultati ottenuti dai progetti dimostratori nelle 6 aree considerate (fig. 28) e dalle considerazioni effettuate sui vari parametri ed indici si possono riassumere nei punti:

- necessità da parte dell'accademia di fornire competenze e servizi alle amministrazioni locali per “*gestire visioni strategiche non più rimandabili*”. Inoltre, diventa necessaria la formazione di figure professionali in specifici percorsi universitari, in quanto la quantità e la complessità degli aspetti da considerare implica la preparazione di “*quadri strumentali interdisciplinari*”;
- dai computi estimativi delle opere ipotizzate si riscontra la rilevante economicità soprat-

tutto se confrontata sia ai risparmi in termini di danni evitati sia ai servizi ecosistemici e sociali forniti;

- Si sono progettate 170 GSI, il cui risultato è una tipologia di dispositivi diffusi su tutto il territorio in strade, piazze, parcheggi, che riescono a gestire circa 8566 mc a fronte di un fabbisogno pari a 6800 mc. Accanto agli ottimi risultati ottenuti nella gestione delle acque meteoriche, ulteriori effetti benefici si sono ottenuti nell'aumento dei percorsi ciclabili sicuri, nell'innalzamento degli indici di qualità ecologica urbana quali R.I.E. e B.A.F., così come la riduzione dei parametri microclimatici.



Figura 28 – Localizzazione delle aree campioni: a) Aversa Annunziata; b) Highline di Sant'Antimo; c) Colonne verdi di Giugliano; d) Giardini della metro di Giugliano; e) Green Plaza San Nicola. Fonte: PRIN 2015

Bibliografia

- Biasi C., Paoletta A. (1992), *Progettazione Ambientale. Cave, fiumi, strade, parchi, insediamenti*, Roma, Carocci Editore
- Bologna R., Losasso M., Mussinelli F., Tucci F. (2021), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico*, Maggiori Editori, Santarcangelo di Romagna (RN)
- Bosco A., Rinaldi S., Valente R. (2012), *Strumenti di progetto per il microlandscape urbano*, Firenze, Alinea Editrice
- Bosco R., Ferrara P., *Adaptive design e innovazioni tecnologiche per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di cambiamento climatico. Principi, indicatori, sperimentazioni, PRIN, Bando 2015*
- Bourbia F. (2009), *Impact of street design on urban microclimate*, Renewable Energy
- Cozzolino S., Nardi L., Valente R. (2014), *Teorie di progetto ambientale attraverso l'Europa*, Napoli, Clean
- D'Ambrosio V., Leone M.F. (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. Strumenti e indirizzi per la riduzione*, Napoli, Clean Editori
- Dinetti M. (2017), *Il verde e gli alberi in città. Documenti Lipu per la Conservazione della Natura*, Numero 2
- Latini G., Passerini G., *Il clima locale. Climatologia e Biometeorologia delle aree urbane*, Numero 50-51-52 di agosto 2006 - gennaio 2007
- Marchesi S., Sajani S.Z., Lauriola P. (2013), *Isole di calore e misure di mitigazione*, Numero 5, Ecoscienza
- Oke T.R. (1988), *Street Design and Urban Canopy Layer*, Energy and Buildings, 11
- Valente R., *La riqualificazione delle aree dismesse. Conversazioni sull'ecosistema urbano*, Napoli, Liguori Editori, 2006
- Valente R., *Water sensitive urban open spaces: Comparing north american best management practices*, UPLanD, 2(3), 285-297, 2017
- Valente R., Cozzolino S., Ferrara P., *Enforceability and benefits of mediterranean green streets*, Focus
- Valente R., *Endless articulations, environmental benefits and dynamic relationships of sustainable infrastructures*, UPLanD, 2019
- Urban Street Stormwater Guide, National Association of City Transportation Officials

Sitografia

- <https://www.urbanraindesign.com/>
- https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it
- <https://www.epa.gov/G3/why-you-should-consider-green-stormwater-infrastructure-your-community>
- <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0127277>
- <http://www.assofloromagazine.it/verde-urbano-contro-degrado-e-microcriminalita-il-caso-philadelphia-ha-fatto-scuola-atelli-la-risposta-nella-sinergia-tra-pubblico-e-privato-2/>
- <http://www.mtcube.com/manuali/intramontabili/GIS.pdf>
- <http://www.data.unibg.it/dati/bacheca/1194/48987.pdf>
- <http://host.uniroma3.it/docenti/carlucci/ManualeGIS.pdf>
- <https://www.pwdplanreview.org/manual/chapter-4/4.2-porous-pavement>
- <http://www.comune.bolzano.it>
- <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/berlin-biotope-area-factor-2013-implementation-of-guidelines-helping-to-control-temperature-and-runoff>
- <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/nature-and-green/landscape-planning/baf-biotope-area-factor/>

CAPITOLO II
UNO STRUMENTO INFORMATICO PER
LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE:
IL SOFTWARE ENVI-Met

1. Introduzione ad ENVI-MET

1.1 Il Software

ENVI-Met è un *software* di simulazione ambientale e microclimatica a modello tridimensionale, in grado di simulare e riprodurre il comportamento micro-climatico e fisico di aree urbane. La modellazione implementa e studia le interazioni fra edifici, superfici, vegetazione, flussi d'aria e di energia di una porzione di area urbana sollecitata dalle condizioni climatiche di contesto geografico, ed è inoltre in grado di simulare fattori relativi alla qualità dell'aria.

La capacità del *software* di gestire e mettere in relazione differenti tipologie di dati contemporaneamente lo rende uno strumento largamente utilizzato all'interno di studi sugli effetti dell'isola di calore nelle città, della vegetazione nel contesto urbano, delle variazioni dei flussi d'aria e di calore in relazione alle modifiche del contesto micro-climatico ma anche in studi riguardanti la qualità dell'aria e la diffusione degli inquinanti.

Il *software* è in grado di simulare microaree urbane per un periodo di tempo compreso tra le 24 e le 48 ore, e questo permette l'analisi a piccola scala delle interazioni fra edifici, superfici e vegetazione all'interno dell'area modellata.

La struttura del *software* vede tre principali componenti di *input* (Area, File di configurazione, Database), che vanno a convergere nell'interfaccia che svolge la vera e propria simulazione applicando i modelli di calcolo (fig. 1). I risultati dei calcoli svolti sono raggruppati in diversi file output che possono essere letti e analizzati attraverso due ulteriori interfacce di lettura.

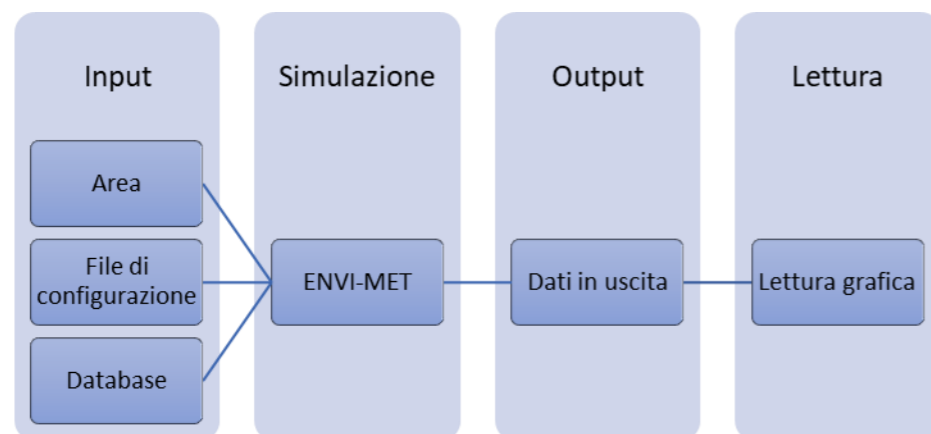


Figura 1 – Mappa di struttura del software

Gli input della simulazione possono essere suddivisi in tre componenti: “Area”, “File di configurazione” e “Database”.

Il file “Area” (fig. 2) è creato attraverso l'interfaccia grafica del software, ed è attraverso questa interfaccia che viene identificata la zona geografica in cui è posta l'area del modello, e contiene:

- dimensione dell'area;
- edifici (altezza, sporgenze e rientranze);

- spazi verdi (a terra ed in quota);
- tipo di vegetazione;
- strade;
- tipologie di suolo;
- presenza di specchi d'acqua.

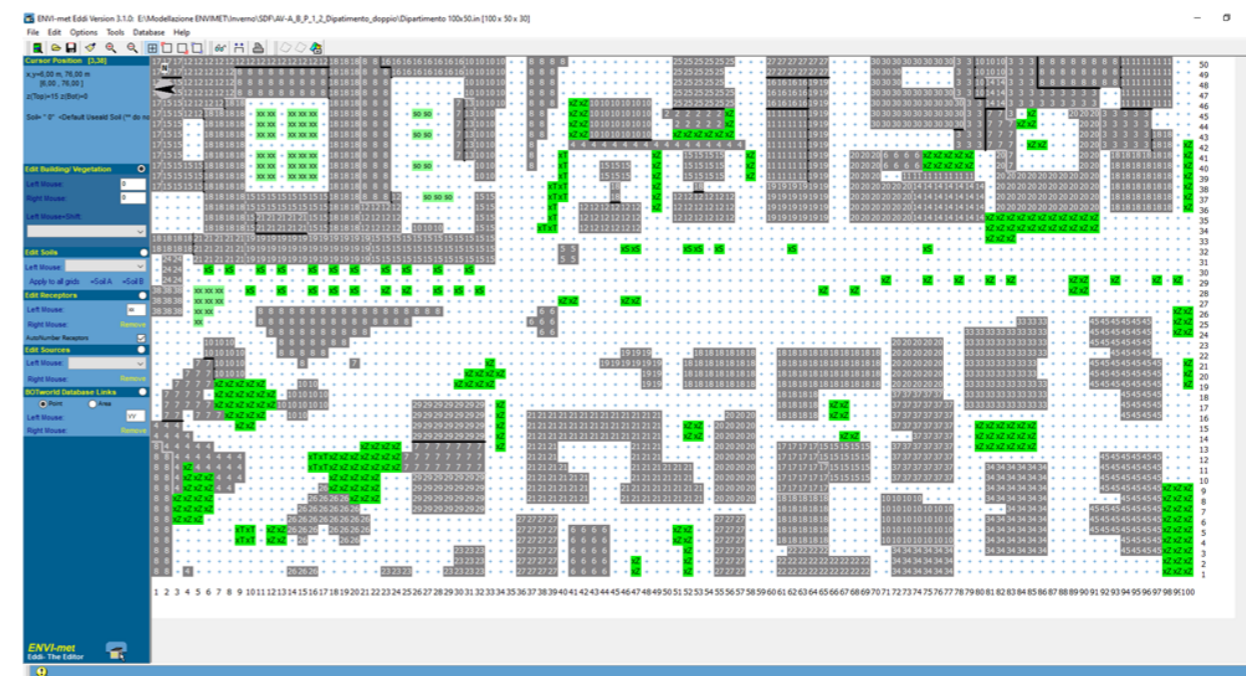


Figura 2 – “Area” della zona urbana contenente il Dipartimento di Ingegneria (in alto a sinistra), e parte di Via Vito de Jasi, Aversa (CE), effettuata da Ferrara P.

Il “file di configurazione” (fig. 3) contiene tutti i parametri iniziali di calcolo e le condizioni a contorno della simulazione e contiene:

- data solare relativa alla simulazione;
- durata relativa alla simulazione (espresso in ore);
- ora di inizio della simulazione;
- dati relativi agli edifici;
- dati relativi al suolo (temperatura e umidità relativa superficiale e a diverse profondità);
- dati relativi al vento (direzione di provenienza, rugosità del suolo);
- opzioni relative al tipo di condizioni a contorno per il calcolo;
- modelli e condizioni di calcolo per le turbolenze dell'aria;
- informazioni strettamente legate all'organizzazione dei file relativi alla simulazione (collegamento col file area, nomi della simulazione e dei file output).

I “database” associati ad ogni modello di simulazione sono tre: uno relativo alla vegetazione, uno alla stratigrafia del suolo, uno contenente dati relativi ad ogni strato del suolo, e ognuno di questi file contiene dati e parametri che vengono poi impiegati nelle equazioni dei modelli fisico-matematici implementati dal software.

“L'interfaccia di simulazione” è la parte centrale del *software* in cui si associano i file di in-

put relativi al modello e si può fare partire lo svolgimento dei calcoli, e rappresenta il motore del software attraverso cui controllare l'avanzamento dei calcoli, mediante l'indicazione istantanea del tempo simulato, e gli eventuali errori che portano al blocco dello svolgimento (fig. 4).

I file di "Output" sono suddivisi in file e cartelle cui sono associati i dati. Alcuni sono file di testo leggibili ed importabili in programmi di calcolo per eventuali analisi; altri sono file non codificabili se non mediante le interfacce allegate al software (es. LEONARDO), ottenendo una rappresentazione grafica in scala cromatica, con isolinee o con rappresentazione vettoriale del dato (fig. 5).

```

---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
$ MAIN-DATA Block
Name for Simulation (Text):           =NOME AREA FEBBRAIO
Input file Model Area                =C:\Users\user\Desktop\AV-A_B_P_1_2_Dipartimento_doppio
Filebase name for Output (Text):     =Invernale_26_02
Output Directory:                   =C:\Users\user\Desktop\AV-A_B_P_1_2_Dipartimento_doppio
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =26.02.2019
Start Simulation at Time (HH:MM:SS): =06:00:00
Total Simulation Time in Hours:      =09.00
Save Model State each ? min         =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s] =3.99
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =45
Roughness Length z0 at Reference Point =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]   =274.54
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =2.8731
Relative Humidity in 2m [%]          =56.05
Database Plants                      =C:\ENVI\met31\sys.basedata\Plants.dat

( -- End of Basic Data -- )
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. -- )
( -- Missing Sections will keep default data. -- )
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description )
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )

[BUILDING] Building properties
Inside Temperature [K]                =288
Heat Transmission Walls [W/m²K]       =1.04
Heat Transmission Roofs [W/m²K]      =1.5
Albedo Walls                          =0.20
Albedo Roofs                          =0.10

[NESTINGAREA] Settings for nesting
Use aver. solar input in nesting area (0:n,1:y) =1
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)    =0

[TURBULENCE] Options Turbulence Model
Turbulence Closure ABL (0:diag.,1:prognos.) =1
Turbulence Closure 3D Modell (0:diag.,1:prog) =2
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.) =0

[LBC-TYPES] Types of lateral boundary conditions
LBC for T and q (1:open, 2:forced, 3:cyclic) =1
LBC for TKE (1:open, 2:forced, 3:cyclic)     =1

[CLOUDS]
Fraction of LOW clouds (x/8)              =0
Fraction of MEDIUM clouds (x/8)          =0
Fraction of HIGH clouds (x/8)             =0

[PMV] Settings for PMV-Calculation
Walking Speed (m/s)                      =0.83
Energy-Exchange (Col. 2 M/A)              =116
Mech. Factor                              =0.0
Heattransfer resistance cloths             =0.5

[TIMING] Update & Save Intervalls
Update Surface Data each ? sec            =30.0
Update Wind field each ? sec              =900
Update Radiation and Shadows each ? sec   =600
Update Plant Data each ? sec              =600

[TIMESTEPS] Dynamical Timesteps
Sun height for switching dt(0) -> dt(1)   =40
Sun height for switching dt(1) -> dt(2)   =50
Time step (s) for interval 1 dt(0)        =10.0
Time step (s) for interval 2 dt(1)        =5.0
Time step (s) for interval 3 dt(2)        =2.0

[SOLARADJUST]
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5) =1.4

[SOILDATA] Settings for Soil
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K] =303
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K] =303
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm) [K] =303
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm)       =50
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm)     =36
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm)    =31
    
```

Figura 3 – Esempio di "File di Configurazione".

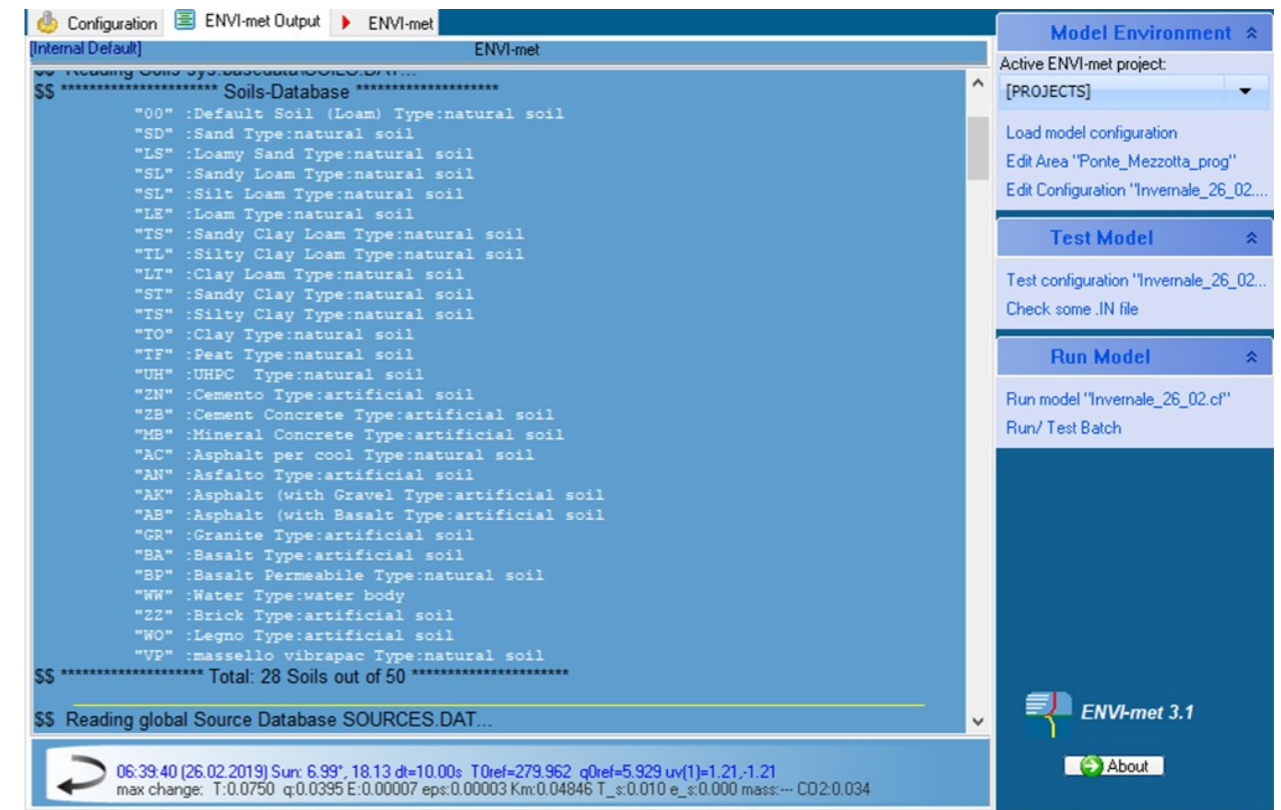


Figura 4 – Esempio di "Interfaccia di Simulazione" dell'area del Ponte Mezzotta, Sant'Antimo (NA).

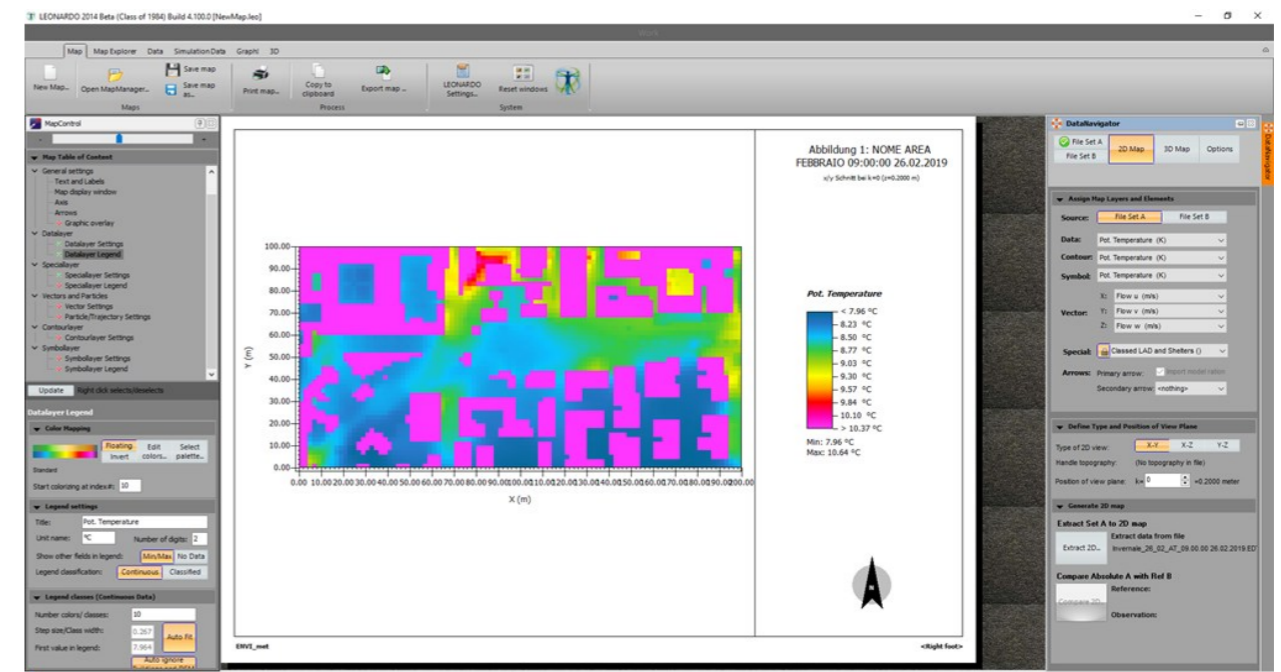


Figura 5 – "Output" ottenuto tramite il software LEONARDO, della zona urbana contenente il Dipartimento di Ingegneria (in alto a sinistra), e parte di Via Vito de Jasi, Aversa (CE).

1.2 Modelli di calcolo

Per svolgere la simulazione il software implementa dei modelli fisici teorici tradotti in sistemi di equazioni molto complessi, solitamente non lineari e li risolve attraverso modelli matematici. Il rischio di divergenza nello svolgimento dei calcoli è molto alto, per questo il programma ha bisogno di parametri di calcolo e di espedienti di controllo che impediscano di arrivare a punti critici nello svolgimento delle equazioni.

ENVI-Met utilizza il *metodo delle differenze finite*¹ per risolvere la moltitudine di equazioni alle derivate parziali e altri aspetti del modello; inoltre utilizza una *Arakawa C-grid* (fig. 6) ortogonale per rappresentare il suo ambiente. La topografia è inclusa contrassegnando le celle come riempite di terra. Come conseguenza di questo schema, ENVI-Met consente solo strutture diritte e rettangolari. Per la superficie del terreno, l'esposizione e l'inclinazione esatte vengono prese in considerazione per i calcoli del bilancio energetico.

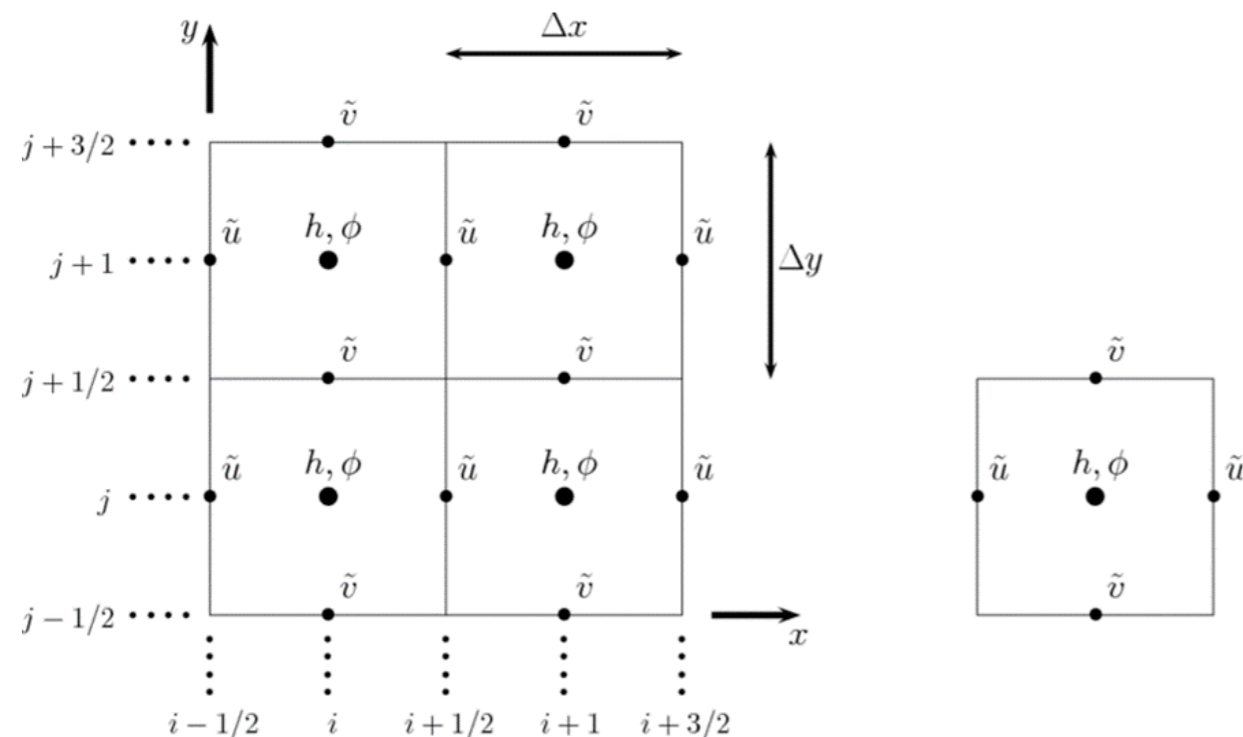


Figura 6 –Arakawa C-grid. Il dominio è diviso in celle rettangolari regolari, con h e ϕ memorizzati nei centri delle celle. Le componenti del momento angolare, (u, v) , sono definite ai bordi della cella, dove possono essere calcolate usando differenze finite del secondo ordine in ϕ .

¹ Il metodo delle differenze finite consiste nell'approssimare il valore della derivata di una funzione $f(x)$ in un punto x , con un'espressione che ne tenga in conto solo un numero finito. Si passa cioè dall'operazione di limite a quella di rapporto incrementale. Ciò consente, quindi, di trasformare un'equazione alle derivate parziali in un problema algebrico.

1.2.1 Inquinamento dell'aria

L'alta densità di traffico e di industrie, creano un mix di inquinanti atmosferici che rappresentano un grave rischio per la salute e il benessere di esseri umani, animali e piante.

Anche quando la situazione delle emissioni non sembra così grave, la combinazione di fonti di inquinanti e aree scarsamente aerate come i *canyon* delle strade strette può rapidamente portare all'accumulo e all'arricchimento locale di inquinanti atmosferici e anche basse concentrazioni di essi possono aumentare le risposte allergiche, ad esempio ai pollini.

Il modello di ENVI-Met in questione consente il rilascio, la dispersione e la deposizione sincrona di un massimo di sei diversi inquinanti, tra cui particelle e gas sia passivi che reattivi. Si tiene conto della sedimentazione e deposizione su superfici e vegetazione, nonché della reazione fotochimica tra NO, NO₂ e ozono (O₃).

I risultati che si ottengono possono essere impiegati per comprendere meglio le dinamiche della dispersione locale di inquinanti e aiutare a sviluppare paesaggi urbani e infrastrutture verdi per migliorare la qualità dell'aria e il benessere umano. In merito a ciò, riguardo all'analisi del progetto dimostratore della Chiesa di Giugliano in Via Colonne, si evidenziano i risultati ottenuti tra il confronto dello *Sky-View* e il contenuto di CO₂ (fig. 7-8).

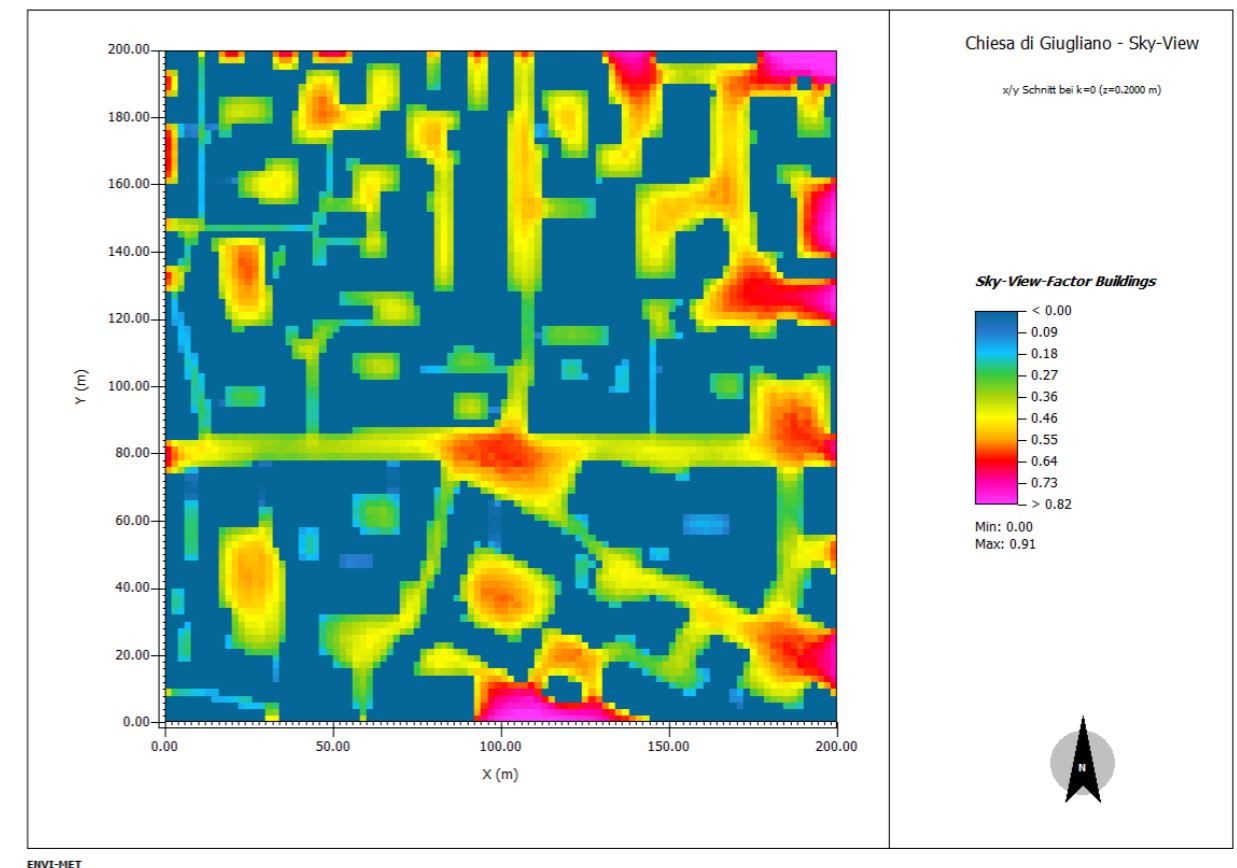


Figura 7 – Rappresentazione grafica dello Sky-View dell'area interessata la Chiesa di Giugliano.

Confrontando la definizione dello *Sky-View* con la fig. 7, è possibile constatare una media visibilità del cielo, e con questo una minore perdita di calore, dovuta anche ad una minore ventilazione. Questo dato è fondamentale per poter studiare gli effetti che questo fenomeno ha sulla qualità dell'aria, così come è mostrato in fig. 8, dove è stata analizzata la quantità di CO₂ che, come si può notare, presenta valori molto alti, e solo in sporadiche zone valori medio-bassi.

Sulla base di queste considerazioni, è fondamentale intervenire per poter diminuire la percentuale di inquinanti, intervenendo ad esempio con un aumento della vegetazione intelligente, in quanto sono strumenti per controllare la distribuzione degli inquinanti, ma la rispettiva interazione tra di essi e il flusso d'aria, turbolenza e deposizione di inquinanti formano un sistema altamente complesso. Un altro modo di intervento è quello di una Pianificazione dei Trasporti che tenga conto delle cause ed intervenire in modo tale da ridurre gli inquinanti atmosferici dovuti alla circolazione sempre maggiore di veicoli, molte volte non più adatte.

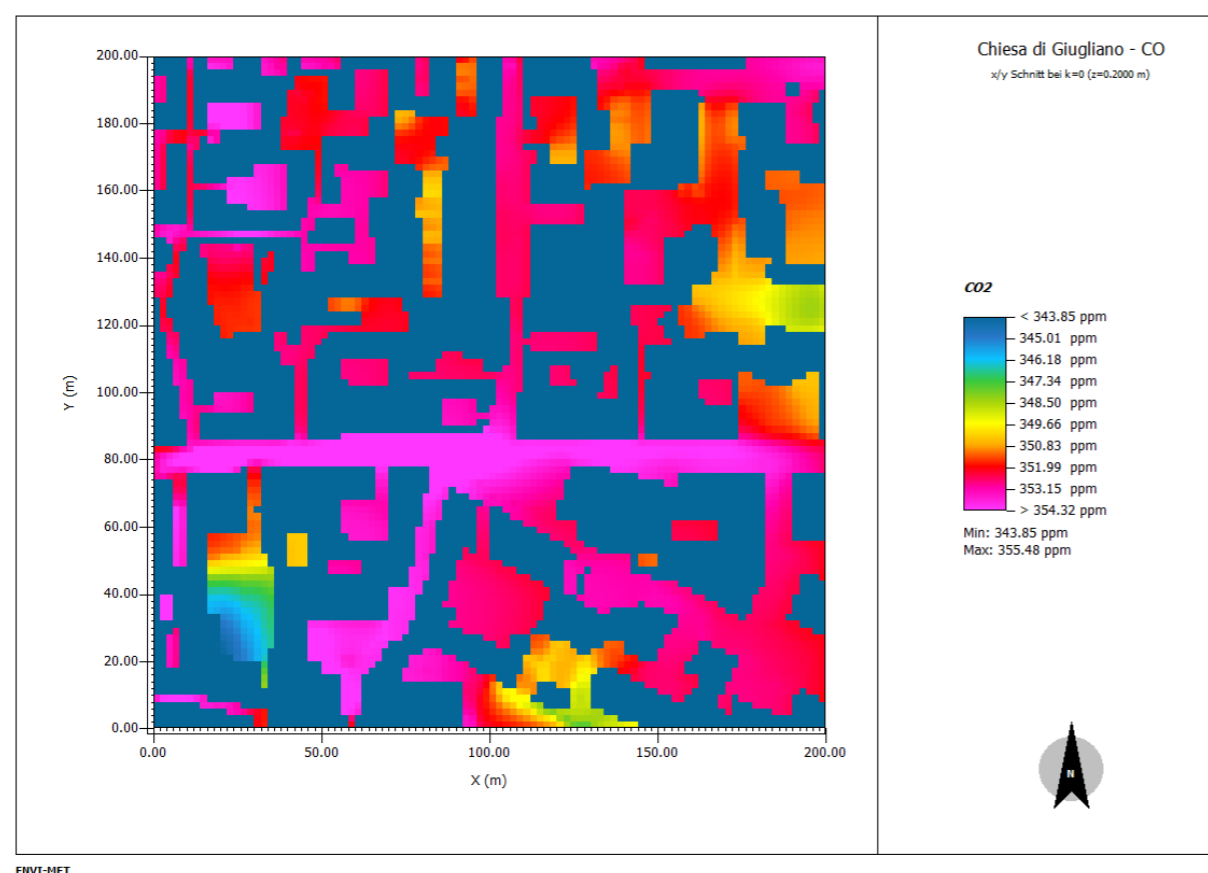


Figura 8 – Rappresentazione grafica della quanti di CO₂ dell'area interessante la Chiesa di Giugliano, in condizioni estive.

1.2.2 Comfort termico

Nel contesto del microclima urbano, il comfort termico è l'indicatore chiave per descrivere l'esperienza soggettiva della temperatura delle persone negli spazi aperti. Riassume l'impatto del sole, del vento, della temperatura dell'aria e dell'umidità sulla sensazione termica. Gli spazi

aperti urbani sostenibili devono quindi avere un design in cui valutare le condizioni microclimatiche, ovvero studiare le condizioni di comfort dei pedoni in determinate condizioni climatiche. Inoltre, condizioni termiche adeguate possono svolgere un ruolo chiave nel successo economico di strutture all'aperto come bar, attività commerciali o aree ricreative. Diversi modelli termodinamici in ENVI-Met consentono una valutazione olistica delle condizioni di comfort termico stazionario e transitorio.

Nel *software*, la temperatura e l'umidità specifica dell'aria sono determinate dalle diverse sorgenti e assorbitori di calore sensibile e vapore all'interno del dominio del modello. La superficie del terreno e le foglie della vegetazione agiscono come fonti sia per la temperatura che per l'umidità nel modello dell'atmosfera. I muri e i tetti degli edifici agiscono principalmente come superfici che scambiano calore con l'atmosfera.

Sempre in riferimento all'area della Chiesa di Giugliano, nelle fig. 9-10, sono state estrapolate dal modello la Temperatura Potenziale e l'Umidità Relativa. È fondamentale sottolineare, innanzitutto, che la moltitudine di materiali, edifici e vegetazione diversi crea un mosaico di condizioni microclimatiche molto diverse a distanza ravvicinata l'una dall'altra, ma è anche importante sottolineare, nel caso in questione, lo SVF che nell'area ha valori medio-basso, e per questo il calore è maggiormente trattenuto, in quanto come abbiamo detto, è causa di scarsa ventilazione. Una soluzione fattibile è quella di creare, nel caso in cui non ci fossero, cortili e parchi urbani che possono fornire tasche fresche e aree ricreative anche in condizioni estive calde.

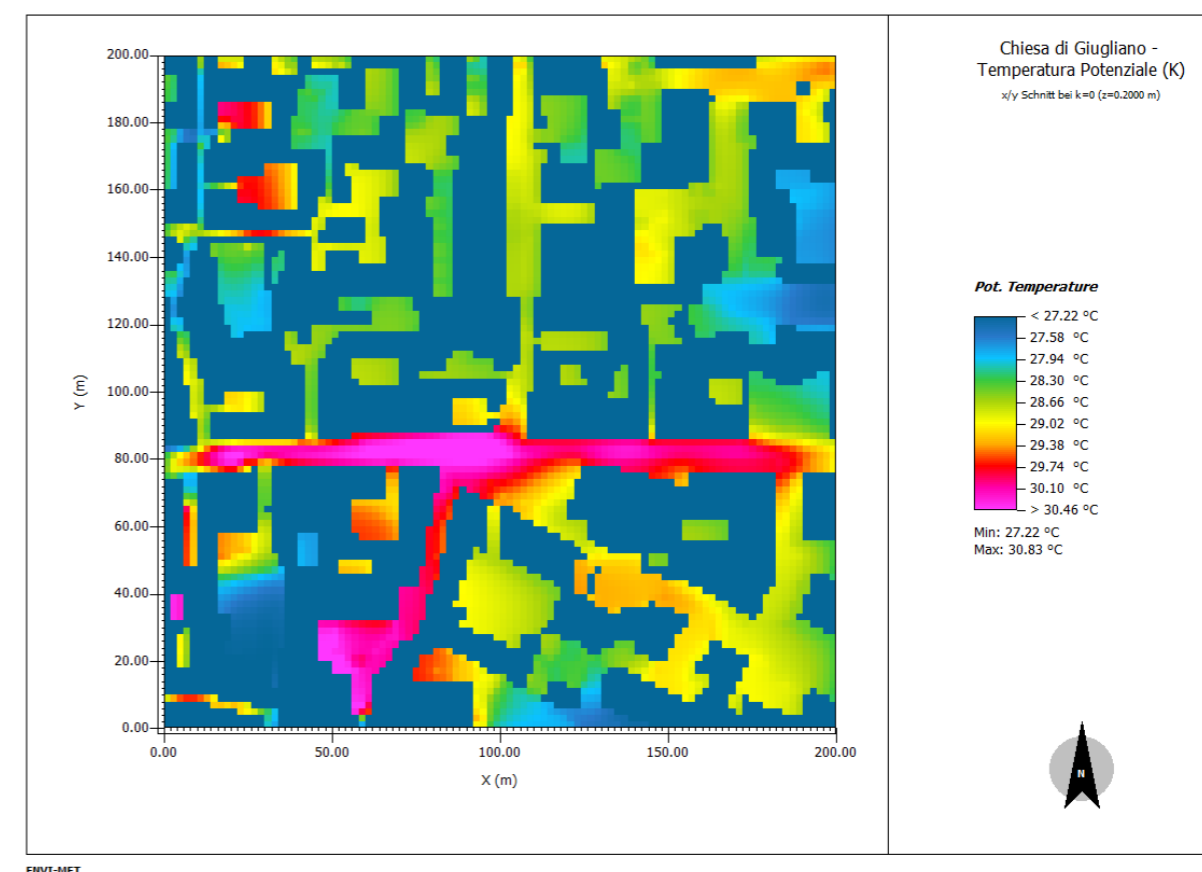


Figura 9 – Rappresentazione grafica della Temperatura Potenziale dell'area interessante la Chiesa di Giugliano, in condizioni estive.

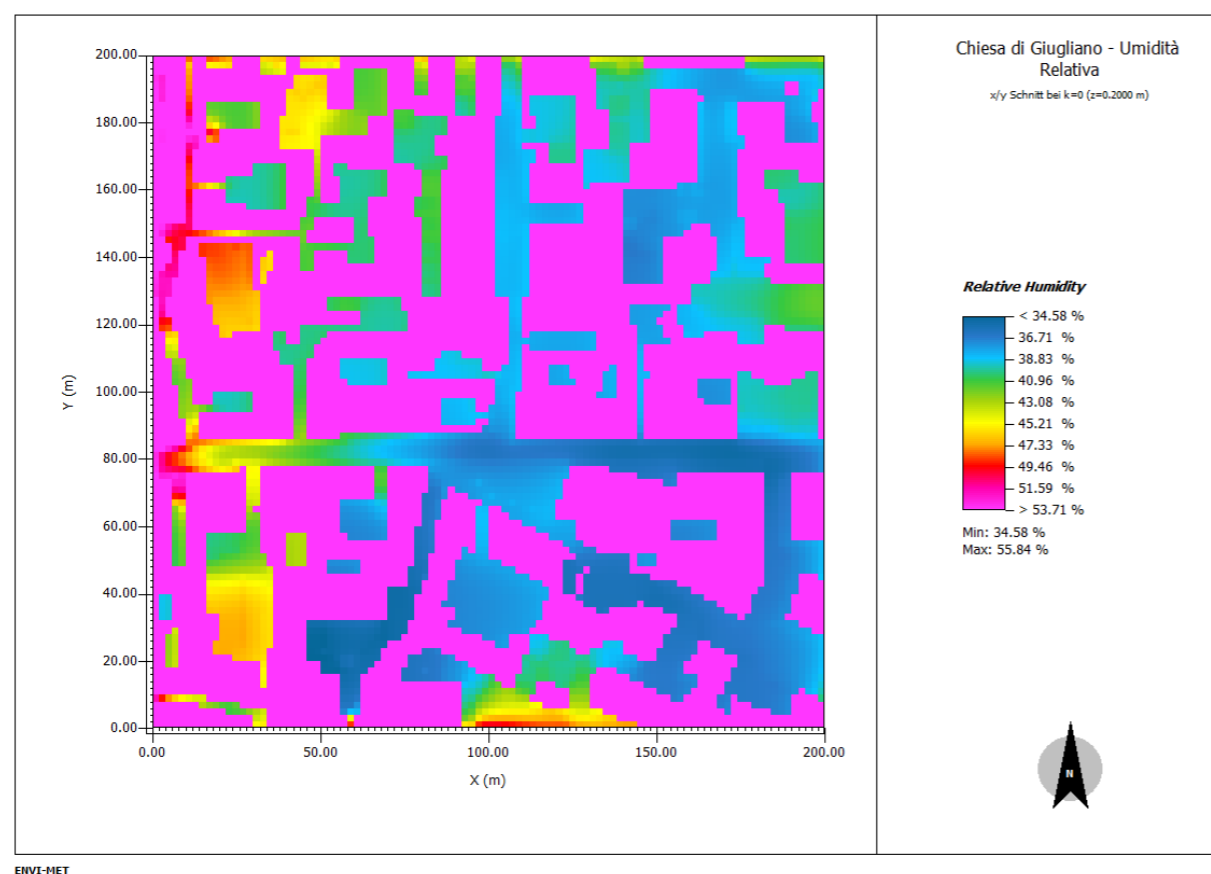


Figura 10 – Rappresentazione grafica dell'Umidità Relativa dell'area interessante la Chiesa di Giugliano, in condizioni estive.

1.2.3 Radiazione solare

Nella maggior parte dei paesi, il clima estivo è influenzato dal calore urbano, dall'umidità e dall'elevata radiazione solare. La luce solare che colpisce le aree edificate viene spesso assorbita da superfici scure e non riflettenti che rilasciano il calore nell'ambiente locale. Inoltre, le basse velocità del vento in estate contribuiscono in modo significativo a un aumento dell'intensità del calore urbano.

Da tutti gli elementi del microclima, la radiazione solare è la componente con la più alta variazione spaziale e temporale all'interno delle aree urbane. L'ombreggiatura di edifici e altri elementi da un lato e il riflesso della radiazione su facciate luminose o vetrose dall'altro possono creare schemi complessi di flussi di radiazione. Un accesso eccessivo o insufficiente alla luce solare può portare a condizioni di vita scomode sia per gli esseri umani che per le piante negli spazi interni ed esterni.

ENVI-Met contiene moduli di analisi di nuova concezione per modellare i flussi di radiazioni a onde corte e lunghe all'interno di ambienti complessi. Lo schema tiene conto dell'ombreggiatura di geometrie complesse, dei riflessi di diverse superfici e materiali da costruzione e dell'effetto della vegetazione su tutti i flussi radiativi.

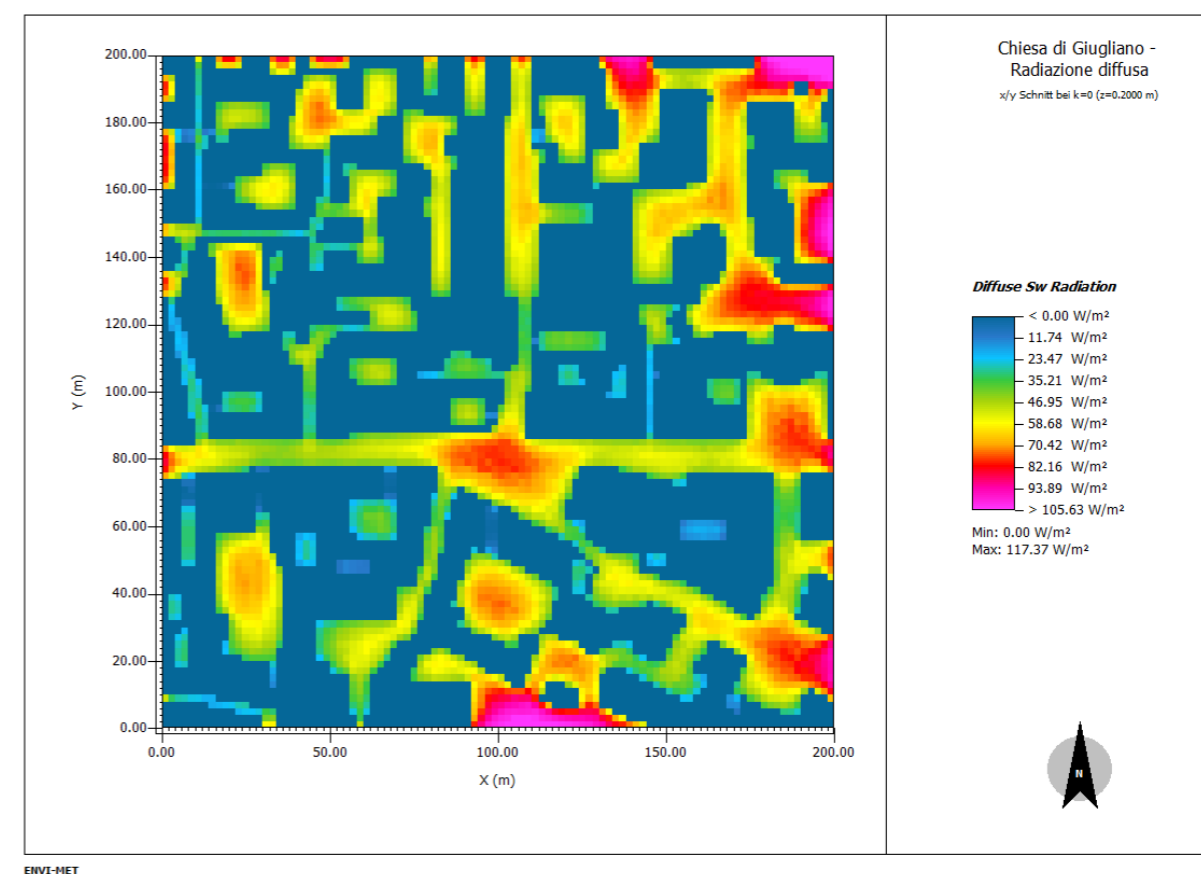


Figura 12 – Rappresentazione grafica della Radiazione Diffusa dell'area interessante la Chiesa di Giugliano, in condizioni estive.

1.2.4 Vento

Le città di tutto il mondo si preparano con diversi dispositivi per adattarsi alle conseguenze negative dei rischi climatici come ondate di calore, forti piogge e venti tempestosi. La situazione del vento differisce notevolmente tra aree urbane e spazi più aperti. Attraverso la struttura tridimensionale e la disposizione dei volumi edilizi all'interno delle città è possibile sperimentare aree di alte velocità del vento e raffiche di vento turbolento. La situazione opposta si trova nelle immediate vicinanze di quelle aree. Zone con velocità del vento molto bassa e masse d'aria stagnanti possono aumentare l'effetto dello stress termico, l'accumulo di inquinanti e favorire lo sviluppo di parassiti nella vegetazione.

Il calcolo dei dati relativi al vento è uno dei processi più complessi dal punto di vista numerico: il rischio di divergenza di uno dei fattori è elevato. ENVI-Met include un modello 3D *Computational Fluid Dynamics* (CFD) completo. Risolve le equazioni di *Navier-Stokes* non idrostatiche medie di *Reynolds* per ciascuna griglia nello spazio e per ogni fase temporale e gli effetti della vegetazione sono inclusi come forze di resistenza nel campo del vento.

In fig. 13 è riportato il modello del vento in periodo estivo, riguardante sempre l'area della Chiesa di Giugliano. Il vettore del vento determina non solo il trasporto lontano dalle superfici e la distribuzione degli inquinanti, ma anche il comfort e il rischio del vento per l'uomo e per la vegetazione. Infatti, da come è possibile notare, un maggior flusso è presente nella strada cen-

trale, la quale ha anche un coefficiente di SVF abbastanza alto. Mentre nelle zone in cui lo SVF è alquanto basso, il vento ne risente sia di velocità che di intensità, facendo sì che gli inquinanti possano non essere allontanati (vedi fig. 8). Purtroppo, in questi casi, soprattutto nei periodi estivi (vedi fig. 9), si soffrirà di temperature elevate, e le soluzioni, dato l'assetto edilizio, non sono molte, se non quello di incrementare, quando possibile, il numero di vegetazione presente, per poter rinfrescare le zone interessate da temperature modeste e basse velocità di vento.

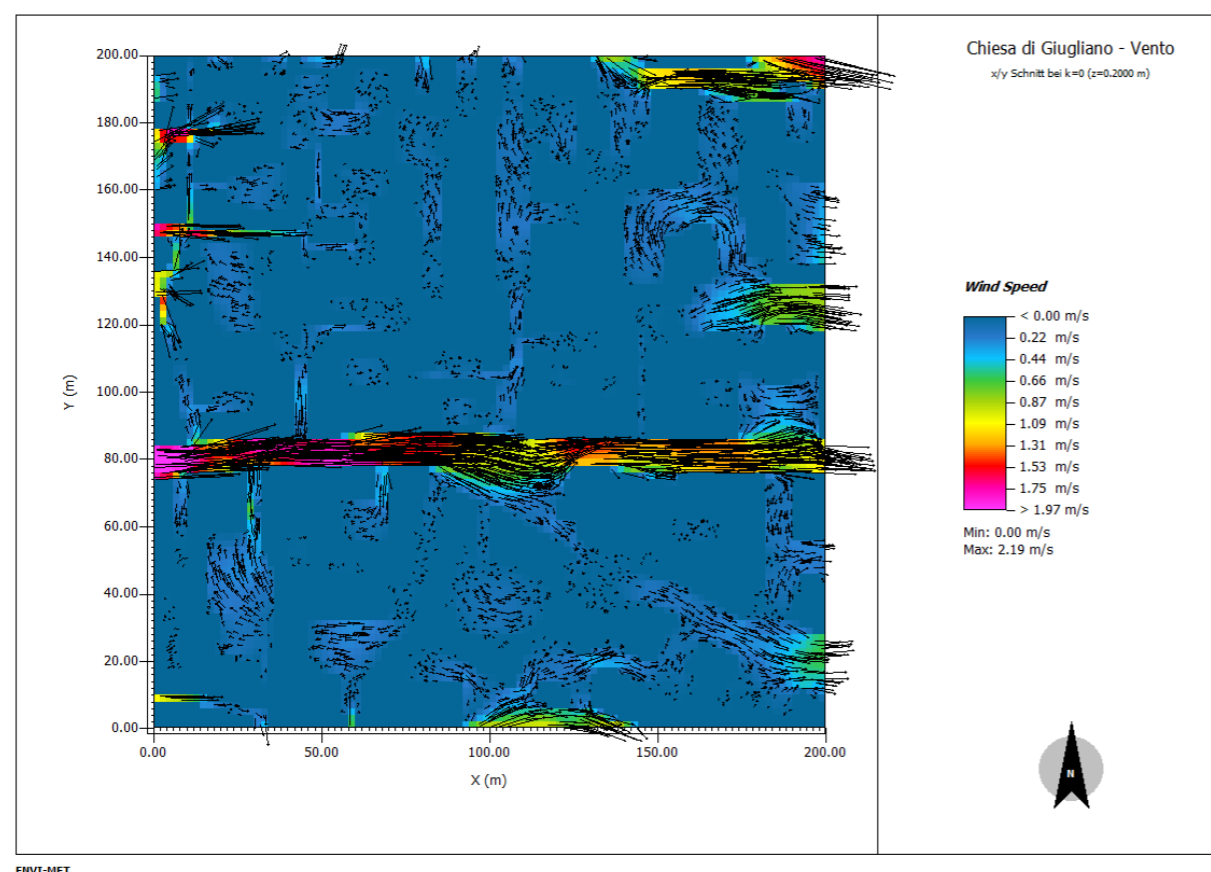


Figura 13 – Rappresentazione grafica del Vento dell'area interessate la Chiesa di Giugliano, in condizioni estive.

1.2.5 Temperatura della superficie e del suolo

La temperatura della superficie e la distribuzione della superficie del suolo vengono calcolate per i suoli naturali e per i materiali di tenuta artificiale fino a una profondità di 4 m. Per ogni strato di griglia verticale è possibile scegliere un diverso terreno o materiale di impermeabilizzazione al fine di simulare diverse strutture del suolo. La conducibilità termica dei suoli naturali è calcolata rispetto al contenuto effettivo di acqua del suolo. Un tipico esempio di risultato della temperatura del suolo è dato nella fig. 14, sempre ottenuto dalla modellazione e simulazione dell'area interessate la Chiesa di Giugliano.

1.2.6 Alberi e vegetazione

La vegetazione è trattata dal Software come una colonna monodimensionale di altezza z in cui il profilo della densità delle foglie è usato per descrivere la densità e la distribuzione delle foglie. Identico concetto è usato all'interno del suolo, fino ad una profondità $-z$, per descrivere la distribuzione delle radici. Questo schema è impiegato sia per alberi ad alto fusto sia ai cespugli, sia all'erba. Per il calcolo dei fattori, quali: temperatura media delle foglie, flussi turbolenti di calore e vapore, flusso radiativo, scambi di gas e calore fra vegetazione e atmosfera, e anche per la determinazione della forma e dell'altezza delle piante, ENVI-Met utilizza funzioni standard e normalizzate: LAD (*Leaf Density Area*) e RAD (*Roots Density Area*).

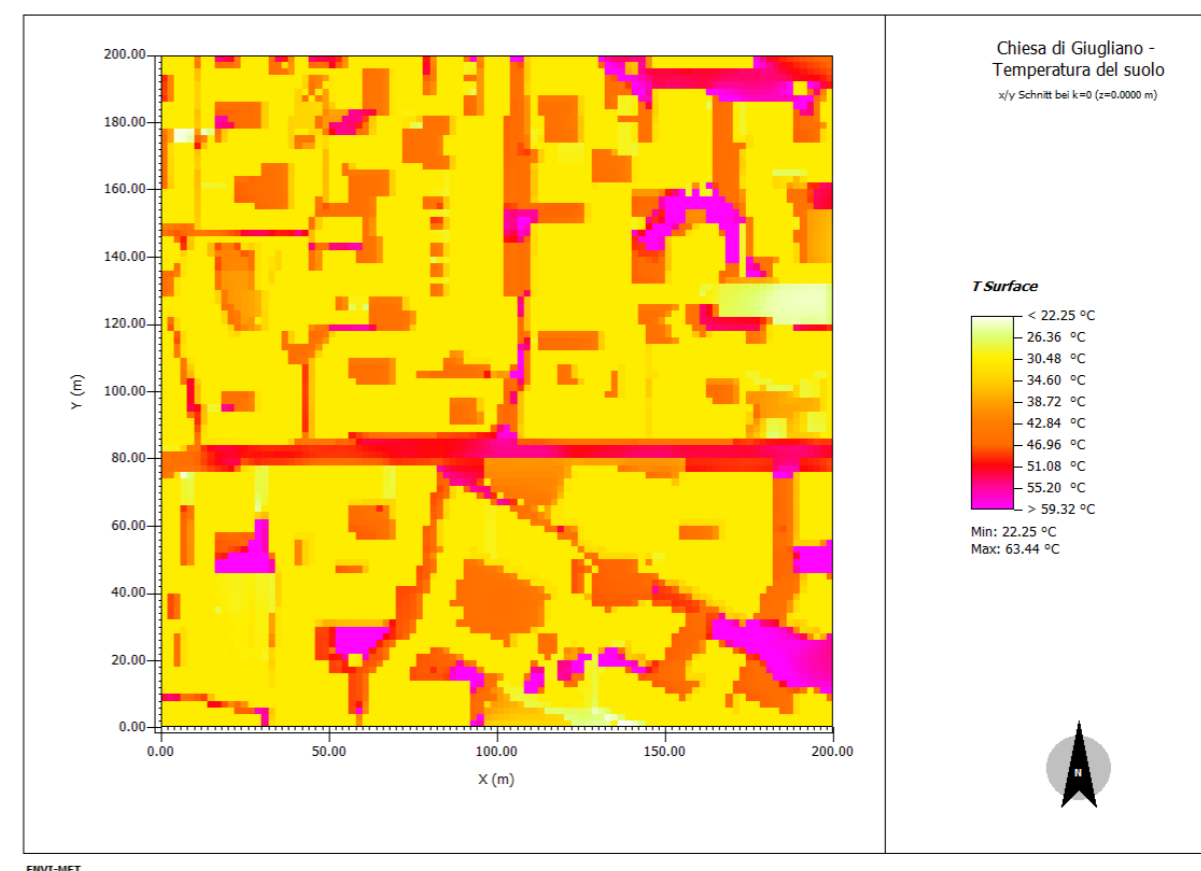


Figura 14 – Rappresentazione grafica della Temperatura del suolo dell'area interessate la Chiesa di Giugliano, in condizioni estive.

1.3 Limiti del software

ENVI-Met è un software molto potente, che permette di ricavare simulazioni energetico-ambientali di aree urbane. I dati ottenuti sono attendibili in buona parte dei casi, ma è evidente che un sistema così complesso debba effettuare obbligatoriamente delle semplificazioni. Le più evidenti sono quelle legate alla creazione del file di "Area", in cui non è possibile rappresentare alcuni elementi che potrebbero incidere, anche in maniera notevole, sul microclima. Può capitare, per esempio, che oggetti che nella realtà sono ad una certa distanza l'uno dall'altro, si trovino in posizione adiacente per effetto della risoluzione del modello: questo induce inevitabilmente ad una grande sovrastima degli ostacoli per le correnti d'aria.

Per quanto riguarda gli edifici, le loro superfici sono considerate tutte opache, ovvero non è possibile riprodurre le porzioni vetrate. L'impossibilità di inserire superfici vetrate fa sì che il programma non possa considerare alcuni effetti, quali ad esempio: riflessione, variazione di trasmittanza, irraggiamento all'interno degli edifici. Un'altra componente trascurata è la capacità termica di un edificio. Essa risulta fondamentale nel calcolo del microclima essendo anche uno dei principali parametri che entrano in gioco nella creazione del fenomeno dell'isola di calore.

Alla luce di ciò si deduce come gli edifici all'interno della simulazione siano considerati elementi geometrici, volumi interagenti sui flussi d'aria e sulla diversificazione di radiazione incidente sul suolo, e per ciò, le temperature superficiali potrebbero non essere del tutto attendibili. Un'altra semplificazione risulta dal fatto che sia impossibile modificare il livello del suolo; infatti, la quota zero è fissata e univoca. La simulazione può quindi applicarsi limitatamente a zone di altimetria simile, senza dislivelli importanti. All'interno della simulazione è anche impossibile riprodurre effetti del moto dell'acqua. Alla luce di questi vincoli che il programma impone, l'utilizzo di ENVI-Met risulta particolarmente efficace in simulazioni che prevedono lo studio dell'incidenza della vegetazione sul microclima, confronti dello stesso sistema in condizioni di verde diverse, riqualificazione urbana, studi relativi alle possibili modifiche per attenuare l'effetto dell'isola di calore.

2. Confronto, effettuato dal candidato, dei risultati di ENVI-Met nei progetti dimostratori del PRIN 2015 nei periodi estate e inverno

Questa parte del lavoro di tesi può considerarsi un approfondimento del progetto PRIN, in quanto, in base alle esperienze ed ai risultati già ottenuti per il periodo estivo, sono stati studiati gli effetti prodotti nel periodo invernale, grazie all'ausilio del software ENVI-Met. Il confronto tra i due periodi stagionali permetterà di studiare le possibili interconnessioni di luoghi per ricavare relazioni tipologiche e microclimatiche di tutti gli indicatori per gli esiti del progetto.

Questo studio si divide sostanzialmente in tre parti: nella prima si analizzeranno gli andamenti dei parametri climatici e di tutti gli indicatori già ottenuti ed analizzati nel PRIN; nella seconda parte, cuore progettuale della tesi, viene analizzata (nel capitolo successivo), modellata e progettata un'area del territorio considerato nel PRIN, nella quale verranno applicate tutte le conoscenze ottenute a partire dai risultati ottenuti nel PRIN e quelli enunciati nel primo punto; nel terzo punto, infine, come strumento di validazione vengono analizzate due strade del tratto determinate dalla consultazione della mappa UAR ottenuta da Bosco R. e Ferrara P.

2.1 La modellazione relativa alla stagione invernale

I comuni oggetto di studio ricadono nel clima mediterraneo con inverni miti ed estati calde. In genere le medie invernali sono inferiori ai 10 °C, mentre quelle estive sono di 23 °C, con picchi di 30 °C; le precipitazioni si concentrano principalmente tra ottobre e gennaio, subendo significative diminuzioni nel periodo estivo². Queste informazioni non rispecchiano sempre la realtà. Infatti, negli ultimi anni, si verificano sempre più gradienti termici molto grandi, a volte con temperature invernali anche al disotto dello 0 °C, accompagnato da forti scrosci di pioggia, causando gravi danni a cose e persone appartenenti alle comunità interessate dallo studio. Non solo le temperature variabili di anno in anno sono un disagio comunitario, ma come detto per l'inverno (e raramente per l'estate), si registrano forti scrosci di pioggia, non contenibili dall'assetto fognario esistente, che formano dei veri e propri fiumi d'acqua che inondano le strade e di conseguenza, le abitazioni e locali commerciali, posti alla quota del marciapiede (Fig. 15a). È indispensabile, riportare lo stato in cui la città vive in questi periodi di grande pioggia, più o meno corrispondenti tra i mesi di settembre/novembre. La fig. 15b, è un esempio di questo disastro ambientale, in cui il notiziario riportava: *“L'acqua ha messo KO anche l'ospedale Moscati. Questa mattina le sale operatorie del nosocomio locale si sono allagate per il nubifragio...Un problema enorme per un ospedale che serve migliaia di pazienti...Nella tarda mattinata è invece crollato il tetto e un muro della palestra dell'ITIS Alessandro Volta...”*³

Questo danno, che si ripete ogni anno è uno degli effetti legato ai cambiamenti climatici, in cui non si hanno più piogge costanti nei periodi invernali, ma vere e proprie bombe d'acqua, che per il loro periodo, le fogne non riescono a contenere.

In questa analisi, riferendoci ai dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPA⁴ dei comuni di Casoria ed Aversa nel mese di Febbraio 2019, in quanto è il mese più freddo dell'anno, si sono ricavati tutti i dati da utilizzare successivamente nelle strategie progettuali. Sono state scelte le due stazioni menzionate in quanto site in vicinanza rispetto all'area di studio; inoltre, essendo Aversa sprovvista di dati riguardanti la velocità del vento, si è presentata la necessità di prelevare tali dati dalla stazione meteorologica di Casoria (Tab. I).



Figura 15 – a) Foto scattata dall'ingresso della Facoltà di Ingegneria in Via Roma. Il fiume di acqua che si è venuto a creare impedisce la circolazione pedonale e rallenta quella veicolare, creando anche gravi danni ai negozi a fronte strada. b) Foto tratta dal notiziario CasertaNews del 07 Novembre 2017, mostra il fiume di acqua che si è venuto a formare in Via Vito de Jasi, continuante a Via Roma.

² <https://it.weatherspark.com/y/76654/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Aversa-Italia-tutto-1%27anno>

³ “CasertaNews”, del 07 Novembre 2017,

⁴ ARPA, acronimo di Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente, è un ente della Pubblica amministrazione italiana, costituito in ogni Regione d'Italia. Con l'entrata in vigore della Legge n. 132/2016 le funzioni dell'ARPA sono ascrivibili ai seguenti ambiti:

- controllo di fonti e fattori di inquinamento dell'aria, dell'acqua, del suolo, acustico ed elettromagnetico;
- monitoraggio delle diverse componenti ambientali: clima, qualità dell'aria, delle acque, caratterizzazione del suolo, livello sonoro dell'ambiente;
- controllo e vigilanza del rispetto della normativa vigente e delle prescrizioni dei provvedimenti emanati dalle Autorità competenti in materie ambientali;
- supporto tecnico-scientifico, strumentale ed analitico agli enti titolari con funzioni di programmazione e amministrazione attiva in campo ambientale (Regioni, Provincie e Comuni);
- sviluppo di un sistema informativo ambientale di supporto agli enti istituzionali e a disposizione delle organizzazioni sociali interessate.

Data [GG]	CASORIA				AVERSA			
	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	V _{max} [m/s]	T _{6.00} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	U _{max} [%]	T _{6.00} [°C]
1	14,74	8,95	2,77	11,94	12,31	8,19	85,96	10,7
2	17,09	11,03	2,81	15,12	13,91	9,85	80,75	12,21
3	13,21	6,96	2,59	9,42	11,64	6,48	72,14	8,71
4	12,25	4,55	2,84	4,72	10,65	5,13	76,28	5,29
5	14,75	6,35	2,51	7,47	11,03	5,96	63,16	7,18
6	13,74	6,11	3,43	7,32	12,48	5,23	59,37	5,23
7	15,99	5,47	1,58	6,13	13,37	5,52	78,34	5,7
8	14,51	4,89	0,8	5,79	12,4	5,75	87,02	5,94
9	14,01	1,73	1,25	2,34	11,57	3,89	76,47	4,12
10	14,15	7,02	2,37	8,25	12,04	6,99	79,81	8,34
11	13,4	3,14	3,43	11,84	10,75	4,52	83,25	10,03
12	12,38	2,44	3,63	4,13	11	3,83	71,19	4,6
13	10,05	4,33	4,4	4,68	9,34	4,39	44,38	5,04
14	15,82	4,94	3,95	6,26	12,34	4,72	70,27	5,94
15	16,97	3,41	3,63	5,51	13,98	4,49	66,27	5,03
16	15,5	4,66	3,18	6,18	13,7	4,44	70,95	5,28
17	15,02	0,89	1,28	1,86	11,89	2,96	78,48	3,38
18	12,41	5,07	1,05	7,06	11,13	5,82	78,68	6,82
19	11,77	4,37	1,39	6,94	10,28	5,67	75,38	7,37
20	14,08	4,5	1,15	5,19	12,2	5,59	72,99	5,84
21	16,09	1,84	1,38	2,06	12,73	3,85	79,88	4,01
22	14,98	2,89	3,08	3,01	13,6	4,69	81,69	4,91
23	9,59	0,62	7,03	5,54	9,73	0,59	57,08	6,26
24	7,68	1,67	5,11	1,76	7,43	2,99	41,3	3,16
25	11,81	1,25	5,08	3,77	9,92	1,82	73,46	4,12
26	14,38	1,81	1,98	3,65	11,47	1,4	76,24	1,54
27	18,24	3,23	3,81	3,23	14,97	4	79,47	4,34
28	16,2	3,17	1,49	3,61	12,56	3,65	66,49	4,1

Tabella I – Valori riferiti al mese di Febbraio 2019 dei comuni di Casoria e Aversa.

Lo scopo di questa analisi è ricavare la minima temperatura, per le ore 6:00 di mattina di un determinato giorno di febbraio, l'umidità relativa e la velocità del vento, dati che saranno poi successivamente utilizzati per ottenere una simulazione del periodo invernale con ENVI-Met. A tal fine, sono stati elaborati i grafici in funzione rispettivamente di: (gg; T); (gg; V); (gg; U), con T = temperatura, V = Velocità e U = Umidità relativa. (Fig. 16-17-18-19-20)

Si può notare come, nel caso della temperatura, i valori climatici cambino, con rilevanza, in alcuni giorni (pur essendo le distanze tra le stazioni nel raggio di circa 10 km), mentre in maniera quasi impercettibile, in altri. Tali differenze sono da imputarsi alle diverse caratteristiche geografiche dei due comuni, in quanto il comune di Casoria è sito ad un'altitudine superiore (circa 60 m.s.l.) rispetto a quello di Aversa, e diverse distanze rispetto al mare, essendo Aversa più nell'entroterra rispetto a Casoria.

I valori da utilizzare nel software ENVI-Met sono stati ricavati in base alla minore temperatu-

ra delle due stazioni alle ore 6:00, così come la velocità del vento e l'umidità relativa. L'umidità relativa, fornita dalla stazione di Aversa, è stata ricavata nel giorno in cui la temperatura era la più bassa del mese, ovvero il 26 febbraio (T = 1.54 °C), ed analogamente è stata ricavata la velocità del vento nella stazione di Casoria. I dati ricavati sono:

$$T = 1.54 \text{ °C}; V = 3.99 \text{ m/s}; U = 56.05\% \quad [1]$$

Utilizzando il *Configuration Editor* del PRIN, sono stati inseriti i valori meteorologici delle [1], in modo da ricavare le simulazioni delle aree campione (per le quali ci si è serviti dell'*Area Input* già definite nel PRIN) per il periodo invernale.

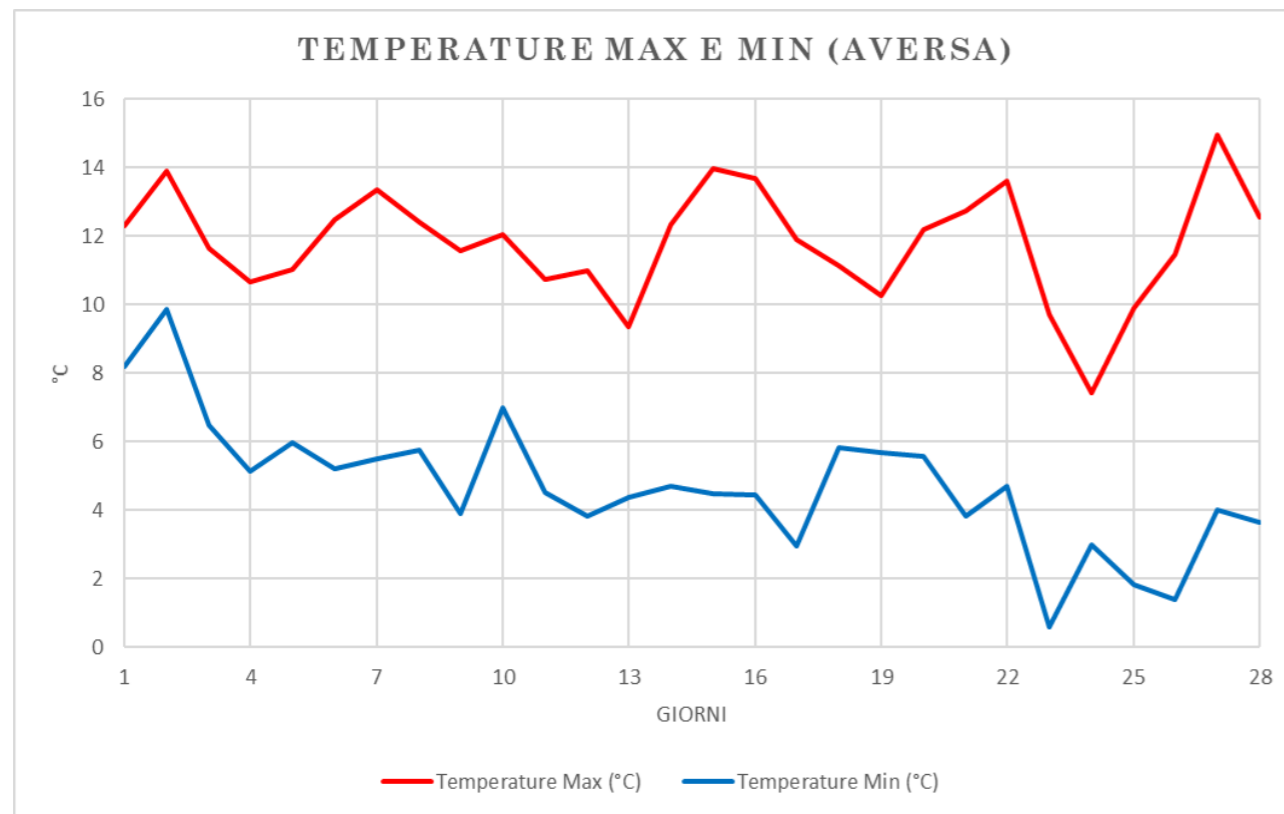


Figura 16 – Diagramma delle temperature min e max in funzione dei giorni del mese di Febbraio del comune di Aversa

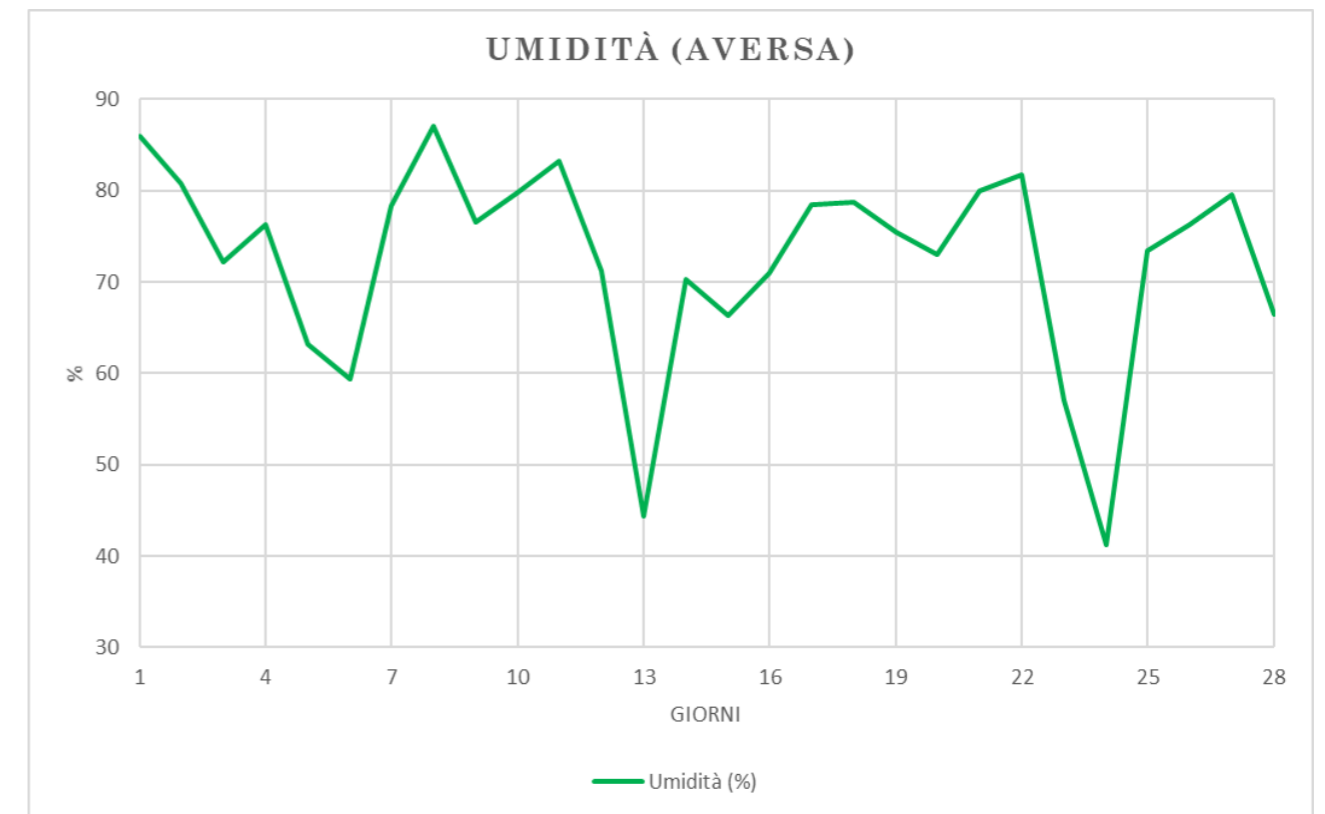


Figura 17 - Diagramma dell'Umidità relativa in funzione dei giorni del mese di febbraio del comune di Aversa.

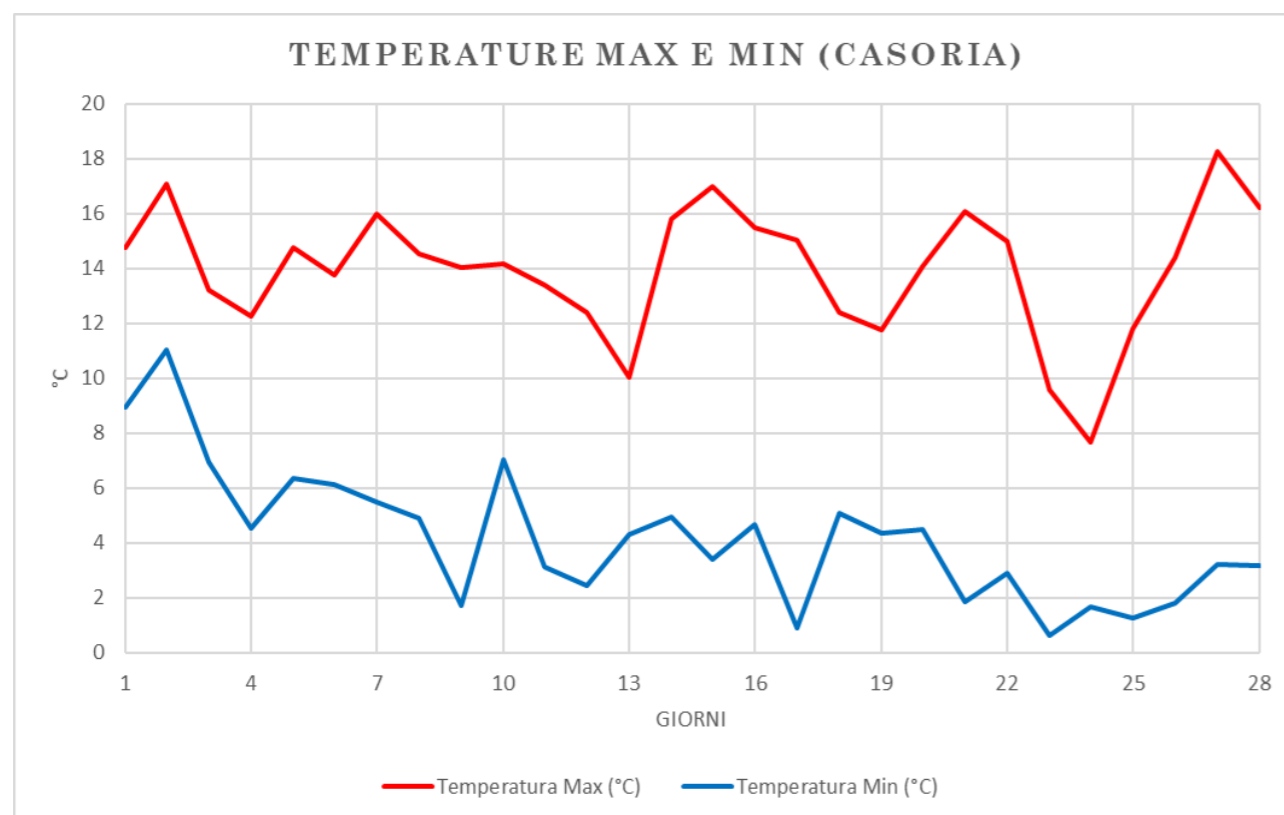


Figura 18 - Diagramma delle temperature minime e massime in funzione dei giorni del mese di febbraio del comune di Casoria

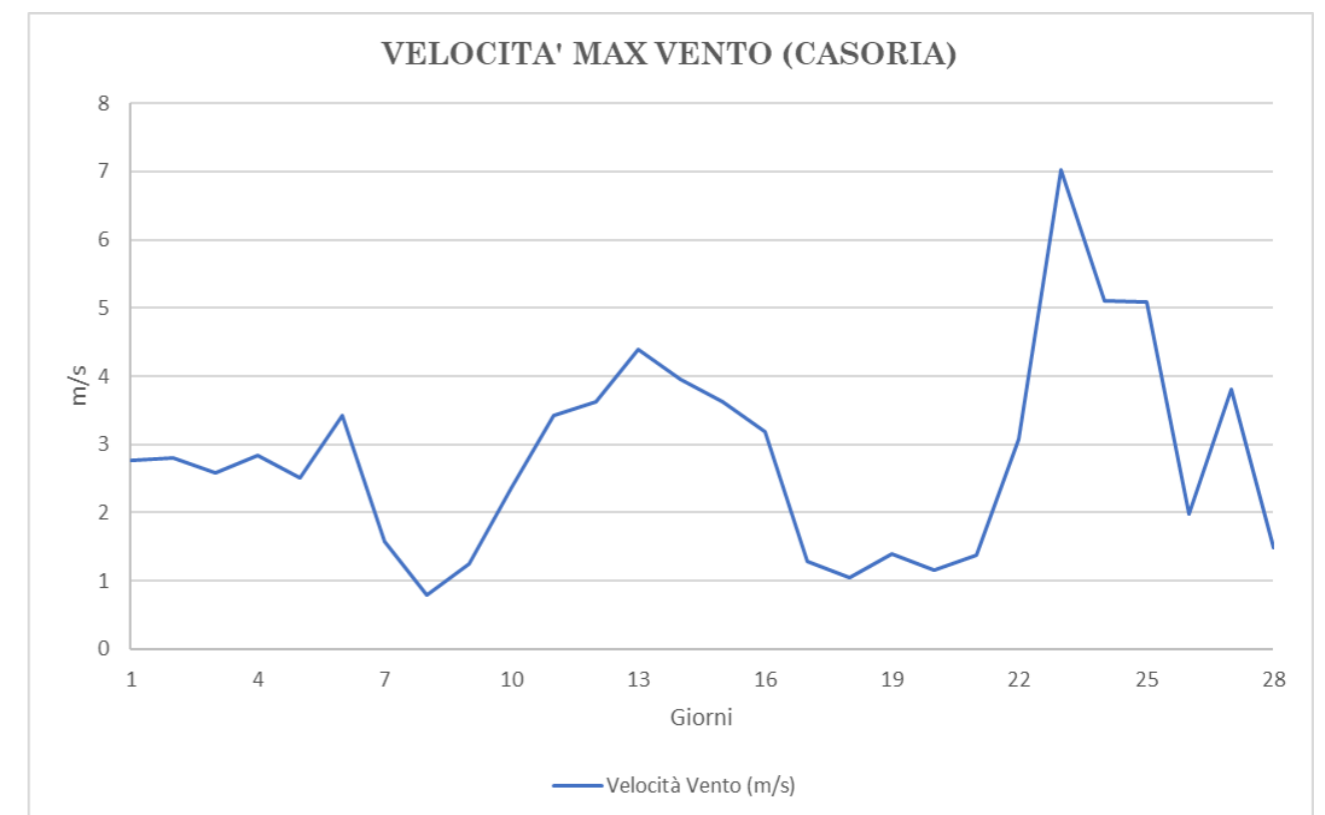


Figura 19 - Diagramma della velocità del vento in funzione dei giorni del mese di febbraio del comune di Casoria.

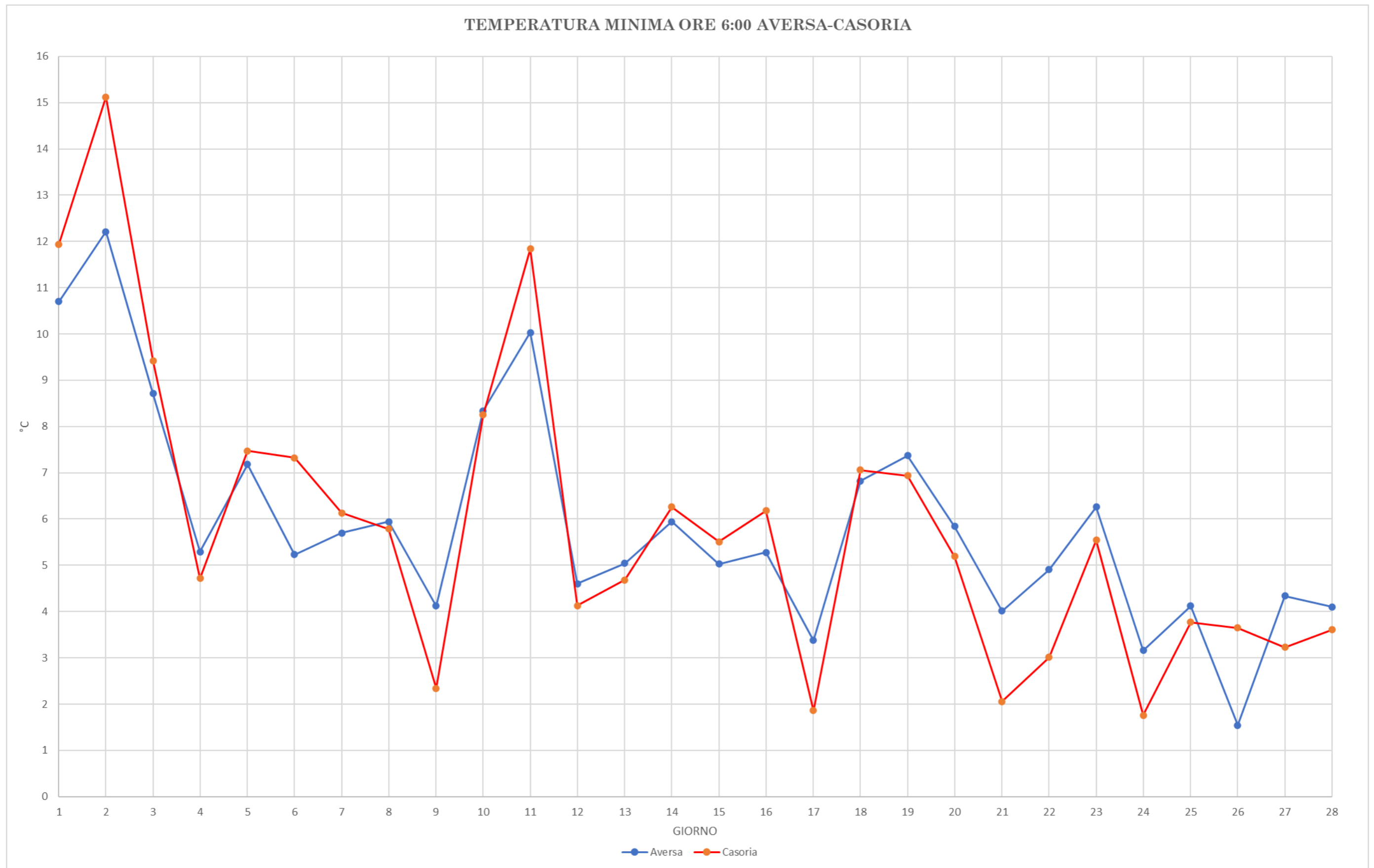


Figura 20 – Diagramma delle temperature min ALLE ORE 6.00 in funzione dei giorni del mese di Febbraio del comune di Aversa e Casoria.

2.2 Risultati ottenuti e criteri di confronto

Sfruttando le simulazioni già effettuate durante il PRIN da Ferrara P., integrate con quelle eseguite in questa tesi per le condizioni invernali, sono stati analizzati i parametri estrapolati dal software ENVI-Met, confrontando i risultati ottenuti dai progetti dimostratori:

- Temperatura potenziale dell'aria⁵;
- PMV (Predicted Mean Vote);
- Temperatura Media Radiante⁶;
- Umidità relativa⁷;
- Temperatura superficiale⁸.

La valutazione dei parametri verrà eseguita attraverso un'Analisi globale, in cui vengono ricavate in maniera automatica tramite il software LEONARDO le frequenze, in percentuale, dei parametri sopra esposti. Essa ha il vantaggio di analizzare, su tutta l'area di studio, le variazioni dei parametri ottenute dai progetti dimostratori, in modo da determinare il comfort medio di una persona che frequenta quest'ultima. Per una lettura più immediata dei diagrammi, è stato pensato di assimilare le spezzate con una curva polinomiale che rispecchi maggiormente l'andamento originale. Tramite questo ragionamento, dalla distanza Δ misurata tra i due picchi (Stato di Fatto e Progetto), è stato possibile determinare le variazioni dei parametri considerati, e quindi determinare le variazioni tra SDF e progetto della situazione microclimatica nell'area del progetto dimostratore (fig. 21).

Per ogni area campione, dai risultati ottenuti dal PRIN, sono noti:

- superficie trattata a verde, nella quale viene riportata la superficie di verde attuale e futura (fig. 22);
- numero di alberi attuale e futura differenziata in base all'altezza degli stessi (fig. 22);
- gli indicatori RIE e BAF (fig. 22);
- mappa UAR (*Urban Area Ratio*), nella quale sono riportati i rapporti H/W (fig. 23).

⁵ La Temperatura Potenziale è definita come la temperatura di una particella di aria secca che dalle condizioni iniziali (T_0 e P_0), viene portata ad una quota di riferimento (il livello del mare), a cui corrisponde una pressione $P = 1000$ hPa attraverso un processo adiabatico (Guyot G. 1998). La temperatura potenziale ha il vantaggio di conservarsi nei movimenti verticali della particella d'aria, non risentendo quindi della variazione di quota.

⁶ La Temperatura Media Radiante è definita come la temperatura uniforme di una cavità nera fittizia che racchiudendo degli individui, scambia per irraggiamento con essi la stessa potenza termica scambiata dalle superfici reali, generalmente disomogenee, che delimitano l'ambiente in cui gli individui normalmente si trovano (ASHRAE Handbook Fundamentals 2009, p. 179).

⁷ L'Umidità Relativa è il rapporto, espresso in percentuale, tra la pressione parziale dell'acqua nell'atmosfera a una certa temperatura osservata e la pressione del vapore di saturazione dell'acqua pura a questa temperatura (Glossary of atmospheric chemistry terms, J. G. Calvert, p. 2210).

⁸ Si definisce Temperatura Superficiale quella misurata in prossimità della superficie terrestre, dipendente soprattutto dal calore irradiato dal suolo, e quindi dall'entità della radiazione solare, dalla natura del suolo e dallo strato dell'atmosfera (Enciclopedia Treccani).

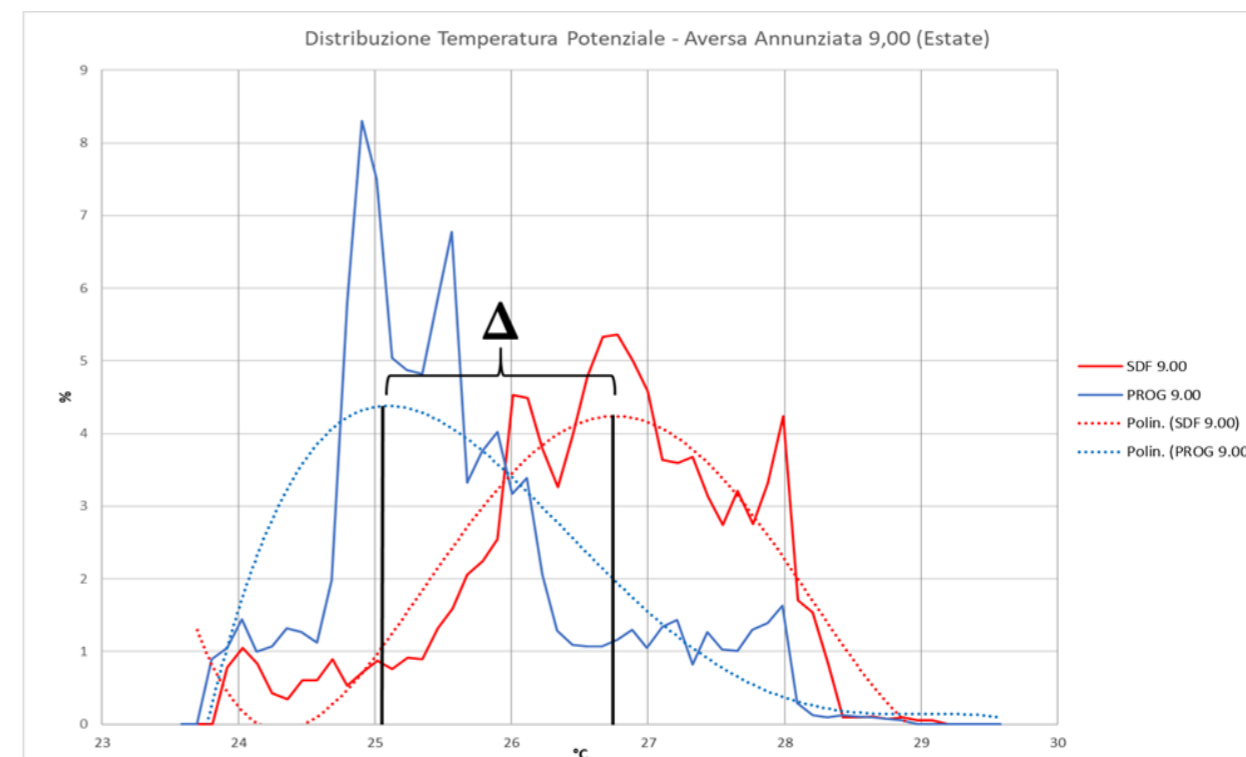


Figura 21 – Rappresentazione dei risultati ottenuti e delle curve polinomiale per la Temperatura Potenziale in Aversa Annunziata alle ore 9.00, in Estate.

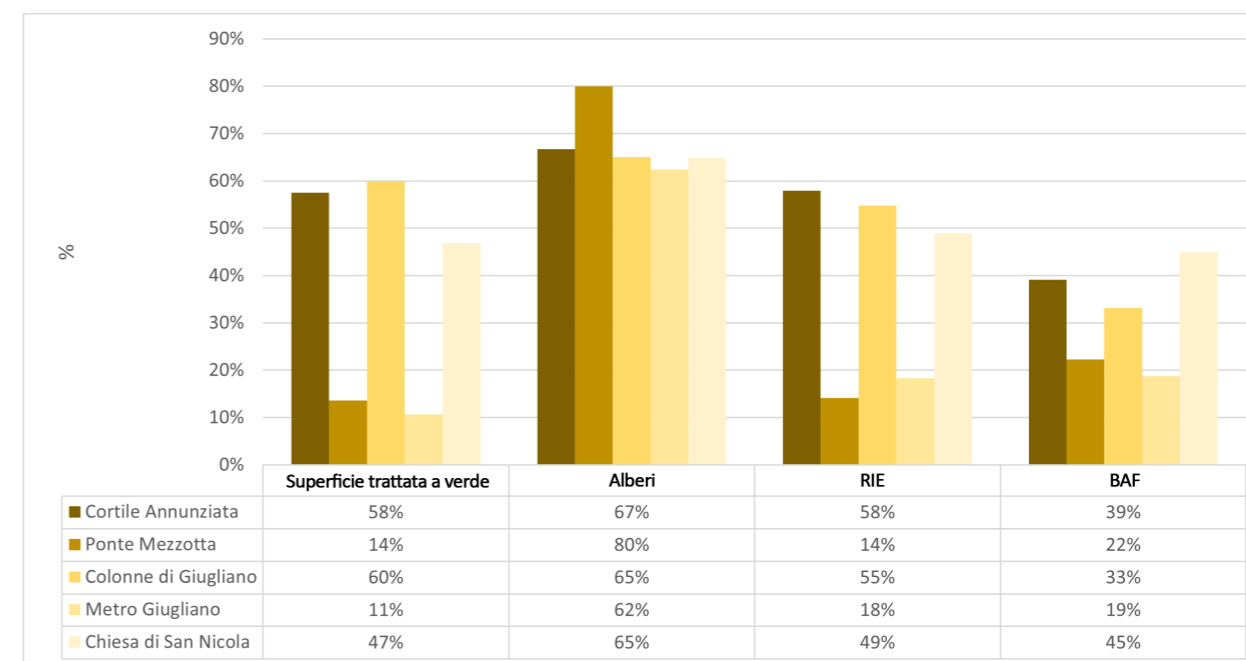


Figura 22 – Dati ottenuti dai progetti dimostratori (fonte PRIN 2015)

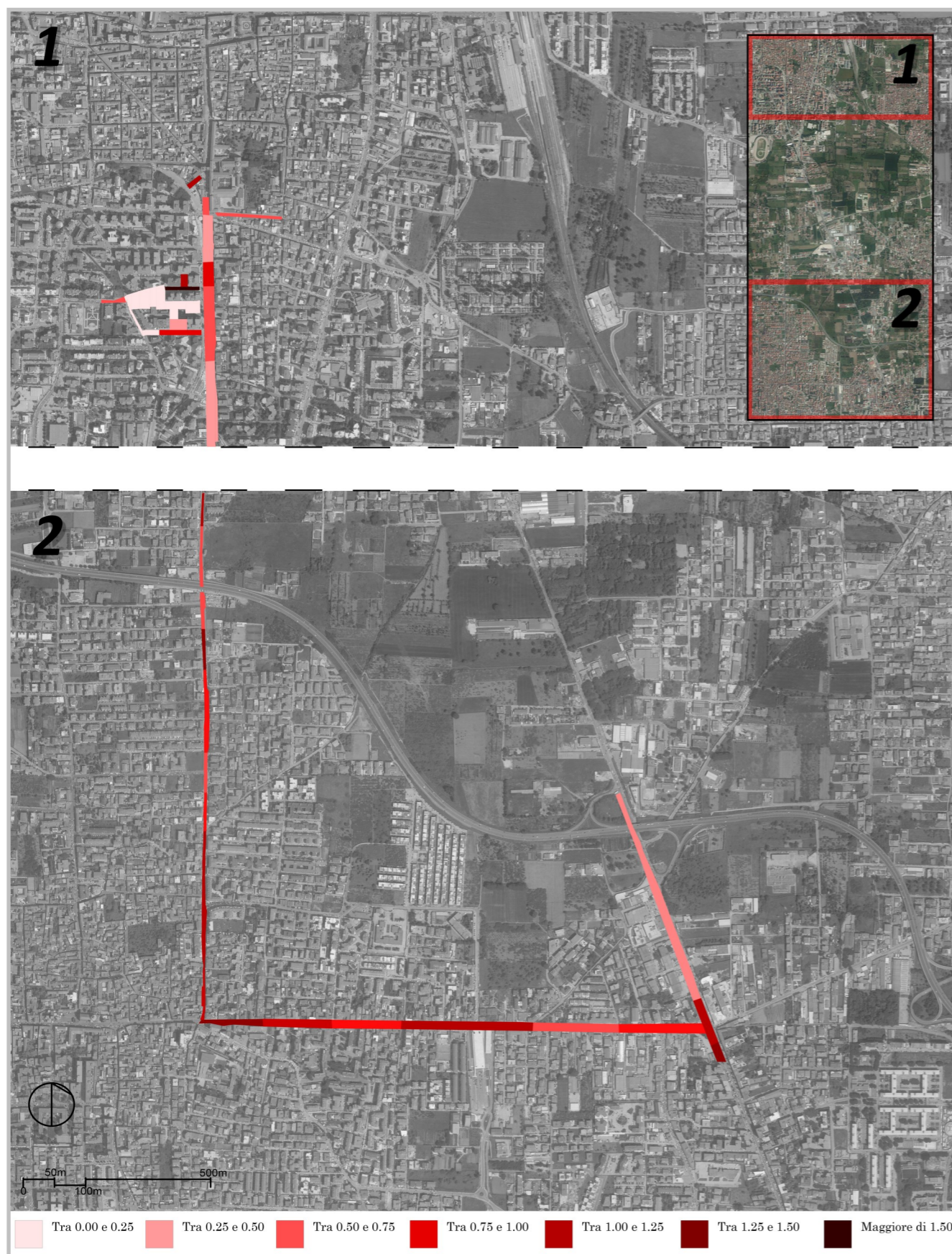


Figura 23 – Mappa UAR dell'area di studio. Fonte: PRIN 2015, elaborazione del candidato.

L'area campione denominata Cortile Annunziata dopo il progetto dimostratore presenta un aumento di superficie verde del 58%, alberi tra i 4 e 12 m del 67%, una riduzione della superficie non permeabile del 3%, il RIE e BAF, bassi in partenza incrementati rispettivamente del 58 e 39%. Dai parametri ottenuti dal modello microclimatico, visti i risultati ottenuti dai diagrammi di frequenze, si verifica:

- *periodo estivo*: per la temperatura potenziale dell'aria si verifica un decremento della temperatura variabile tra il 5 e l'8%, un aumento dell'umidità relativa circa del 12%, una riduzione di PMV tra il 4 e l'8%, aumento della temperatura media radiante tra l'1 e il 2 %, riduzione della temperatura superficiale tra il 2 e il 5%;
- *periodo invernale*: la temperatura ha una diminuzione percentuale tra il 2 e 7%, l'umidità relativa aumenta del 2%, il PMV aumenta del 2% alle 9.00 e diminuisce dell'1% nelle altre due ore considerate, temperatura media radiante aumentata del 4%, Temperatura superficiale ridotta con valori che si aggirano tra lo 0.3 e il 5%.

L'area campione denominata Ponte Mezzotta per il progetto dimostratore presenta un aumento di superficie verde del 14%, alberi tra i 4 e 12 m del 80%, il RIE e BAF, vengono incrementati rispettivamente del 14 e 22%. Si verifica:

- *periodo estivo*: riduzione della temperatura tra l'1 e il 2%, dell'umidità relativa tra l'11 e il 20%, del PMV compreso tra il 4 e il 12%, temperatura media radiante ridotta di mezzo punto percentuale, temperatura superficiale ridotta tra l'1 e il 3%;
- *periodo invernale*: aumento della temperatura tra l'1 e il 3%, dell'umidità relativa tra l'1 e il 3%, del PMV tra l'1 e il 3%, temperatura media radiante aumentata tra l'1 e il 3%, temperatura superficiale con valori tra -2 e il 3%.

L'area delle Colonne di Giugliano presenta un aumento di superficie verde del 60%, alberi tra i 4 e 12 m del 65%, riduzione della superficie impermeabile del 7%, il RIE e BAF, vengono incrementati rispettivamente del 55 e 33%. Si verifica:

- *periodo estivo*: riduzione della temperatura tra il 2 e il 6%, un aumento dell'umidità relativa tra il 4 e il 5%, PMV ridotto tra il 4 e il 13%, temperatura media radiante incrementata del 1%, temperatura superficiale ridotta dell'1%;
- *periodo invernale*: riduzione della temperatura tra l'1 e il 2%, un aumento dell'umidità relativa tra l'1 e il 2%, PMV aumentato tra l'1 e il 3%, temperatura media radiante compresa tra -1 e 1%, temperatura superficiale incrementata tra l'1 e il 2%.

In Metro Giugliano si verifica un aumento di superficie verde dell'11%, alberi tra i 4 e 12 m del 62%, riduzione della superficie impermeabile dell'8%, il RIE e BAF, vengono incrementati rispettivamente del 18 e 19%. Si verifica:

- *periodo estivo*: riduzione della temperatura tra l'1 e il 3%, un aumento dell'umidità relativa tra l'16 e il 21%, PMV decrementato tra il 2 e il 4%, temperatura media radiante quasi invariata, temperatura superficiale tra l'1 e il 2%;
- *periodo invernale*: aumento media della temperatura dell'11% riduzione dell'umidità relativa tra l'8 e il 9%, PMV ridotto alle ore 9.00 e 12.00 rispettivamente del 34 e l'11% e aumentato del 7% alle ore 15.00, temperatura media radiante tra -14 e il 10%, temperatura superficiale aumentata tra il 3 e il 29%.

Infine, nell'area della Chiesa di San Nicola in Giugliano si verifica un aumento di superficie verde del 47%, alberi tra i 4 e 12 m del 65%, riduzione della superficie impermeabile del 6%, il RIE e BAF, vengono incrementati rispettivamente del 49 e 45%. Si ottiene:

- *periodo estivo*: riduzione della temperatura tra l'1 e il 3%, un aumento dell'umidità relativa tra l'1 e il 12%, PMV ridotto tra il 6 e il 21%, temperatura media radiante ridotta tra l'1 e il 2%, temperatura superficiale decrementata tra l'1 e il 4%;
- *periodo invernale*: decremento della temperatura tra il 3 e il 7%, aumento dell'umidità relativa tra il 5 e il 7%, PMV ridotto alle ore 9.00 del 15%, mentre aumenta alle ore 12.00 e 15.00 rispettivamente del 4 e 2%, temperatura media radiante ridotta di circa l'1%, riduzione della temperatura superficiale tra il 4 e il 6%.

I risultati ottenuti sono riportati nelle fig. 24-33, dove i risultati estivi sono ottenuti grazie alle simulazioni effettuate nel PRIN, mentre la modellazione e i risultati del periodo invernale sono stati ricavati per lo studio di questa tesi.

Dai valori ottenuti è possibile fare delle considerazioni correlando le informazioni ottenute con ENVI-Met e i risultati dei progetti dimostratori. È possibile notare che per il periodo estivo, riduzioni importanti della temperatura potenziale si ottengono laddove si sono ottenuti incrementi sostanziali delle superfici verdi, e ciò si verifica in 3 aree su 5. Ciò si verifica anche per l'inverno dove un aumento di temperatura si ottiene in Ponte Mezzotta e in Metro Giugliano, e ciò è spiegabile in quanto le superfici non verdi, per effetto della radiazione solare, riescono a trattenere calore che sprigionano nell'ambiente.

La percentuale di umidità influenza la capacità termica dell'aria, infatti, a parità di temperatura, quanto più l'aria è umida tanto più l'aria circostante sottrae rapidamente calore al nostro corpo per conduzione termica. In estate l'aria umida impedisce la dispersione di calore e fa quindi percepire una temperatura più alta di quella reale, mentre l'aria secca ha un piacevole effetto rinfrescante in quanto favorisce la traspirazione. In inverno la traspirazione viene quasi del tutto azzerata. Se l'aria è molto umida la sua capacità termica è più alta e quindi ci verrà sottratto calore più rapidamente rispetto al caso dell'aria più secca. I valori di benessere microclimatico e comfort ambientale sono dettati dal *Ministero della Salute* (tab. II).

Condizioni microclimatiche ottimali			
Stagione	Temperatura dell'Aria (°C)	Umidità Relativa (%)	Velocità dell'aria (m/s)
Inverno	19-22	40-50	0.01-0.1
Estate	24-26	50-60	0.1-0.2

Tabella II – Valori di benessere microclimatico e comfort ambientale (fonte: Ministero della Salute)

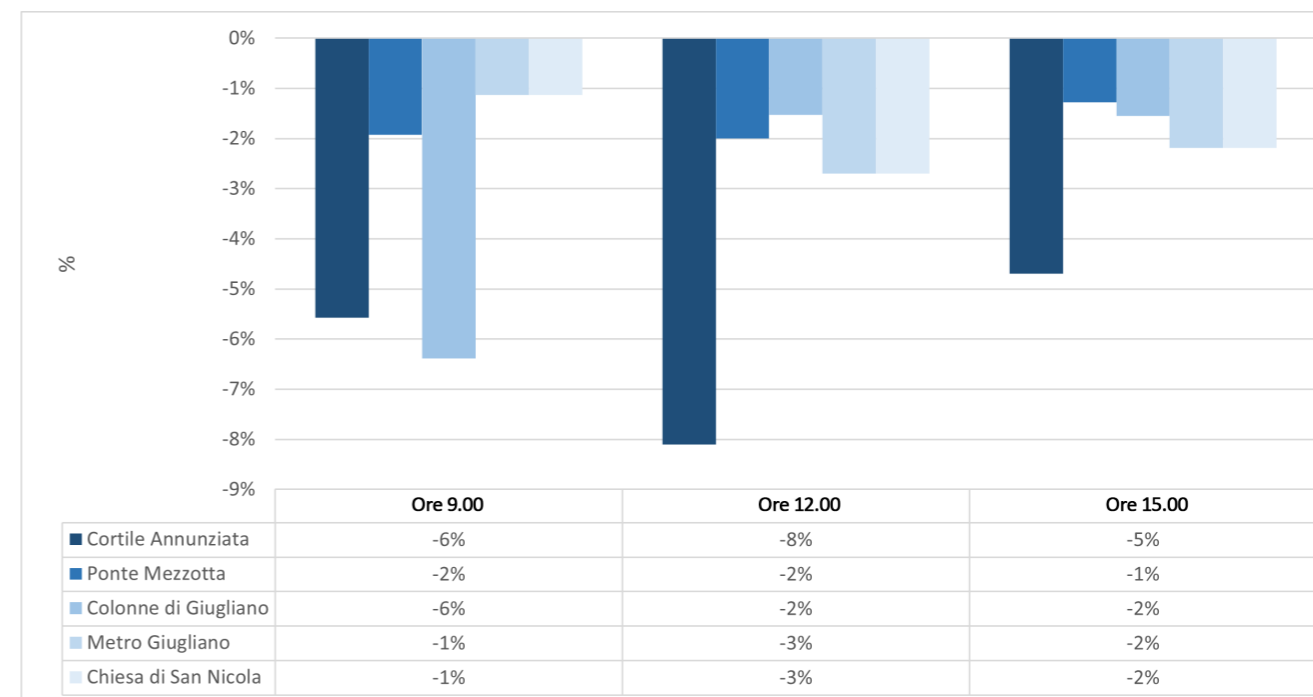


Figura 24 – Differenza espressa in percentuale della Temperatura Potenziale in Estate tra SDF e Progetto

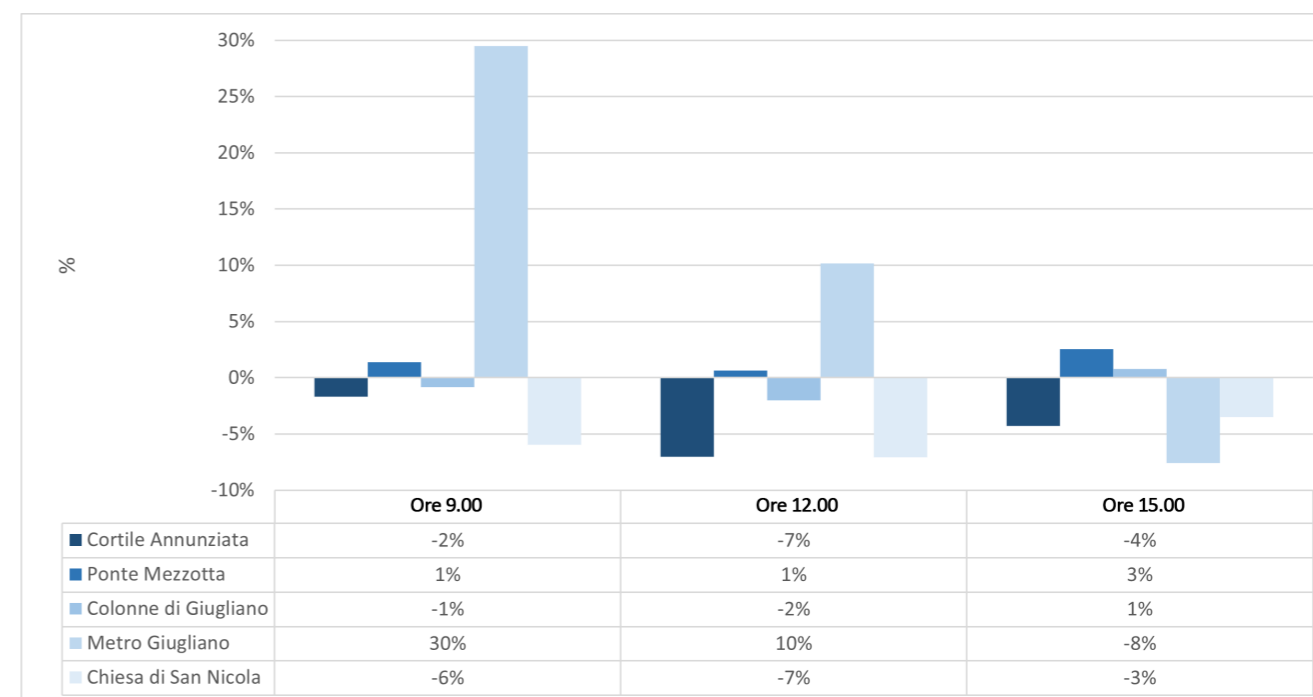


Figura 25 – Differenza espressa in percentuale della Temperatura Potenziale in Inverno tra SDF e Progetto

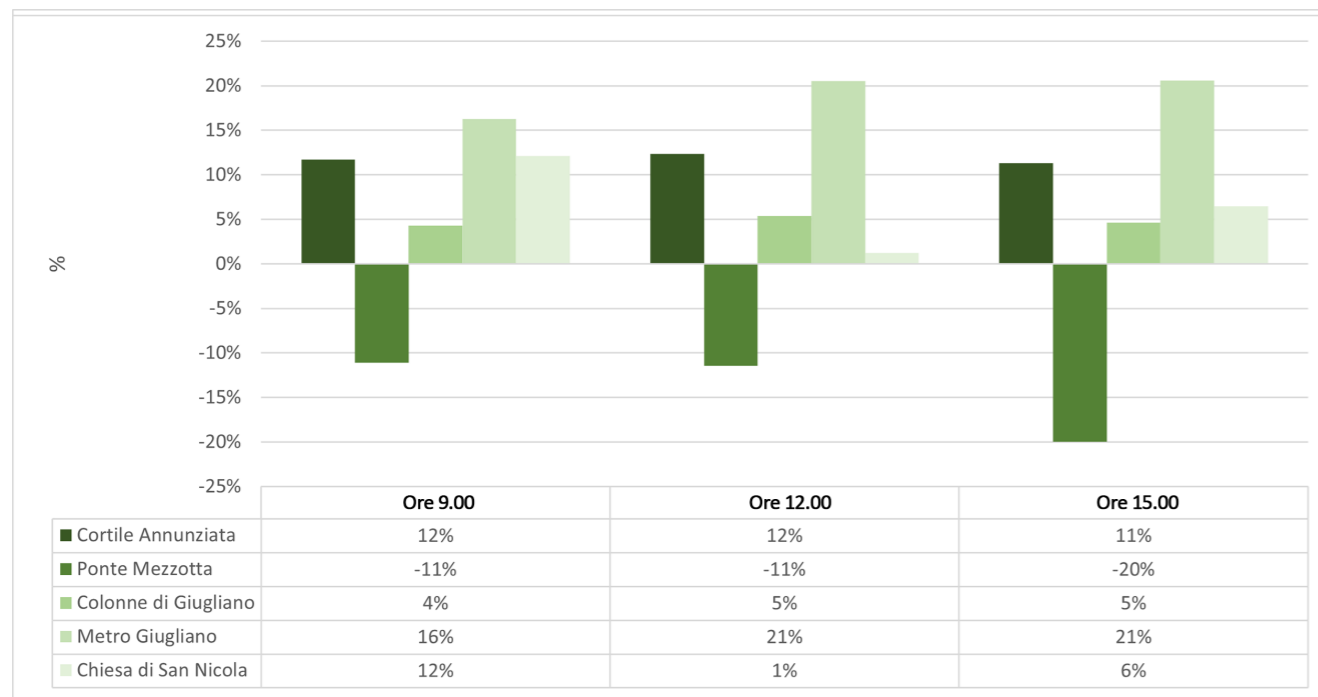


Figura 26 – Differenza espressa in percentuale dell'Umidità Relativa in Estate tra SDF e Progetto

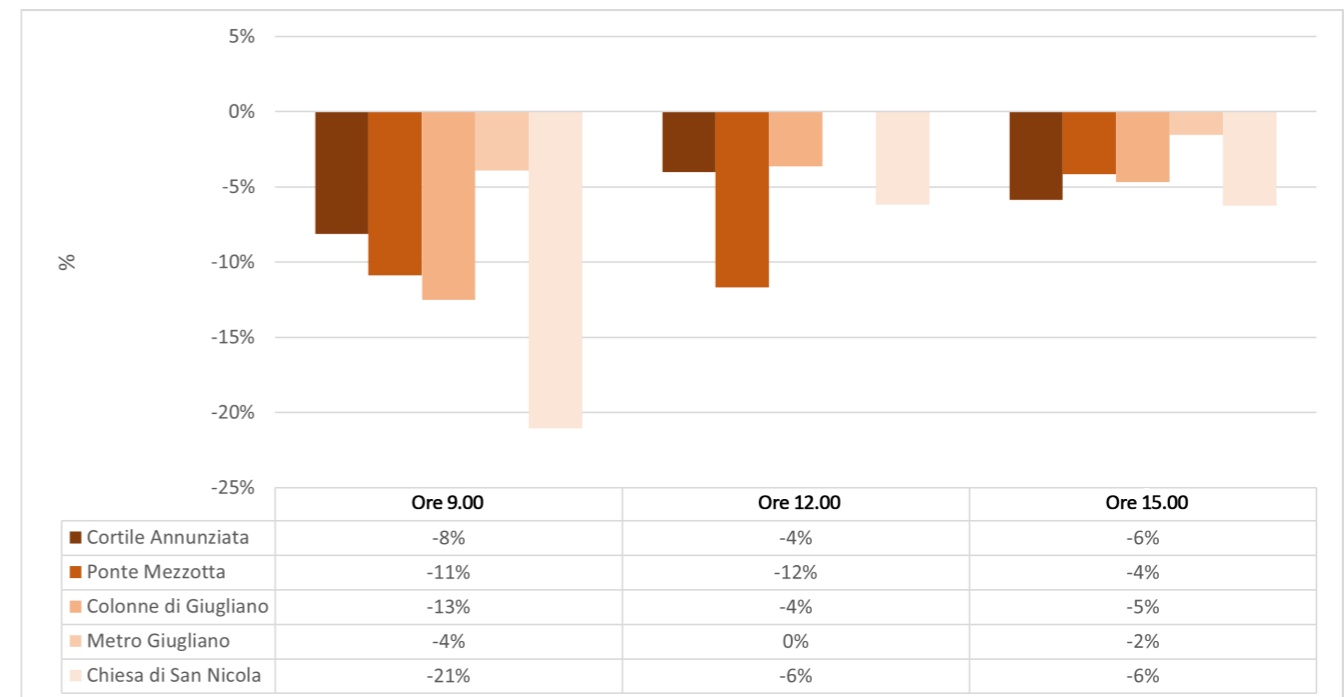


Figura 28 – Differenza espressa in percentuale del PMV in Estate tra SDF e Progetto

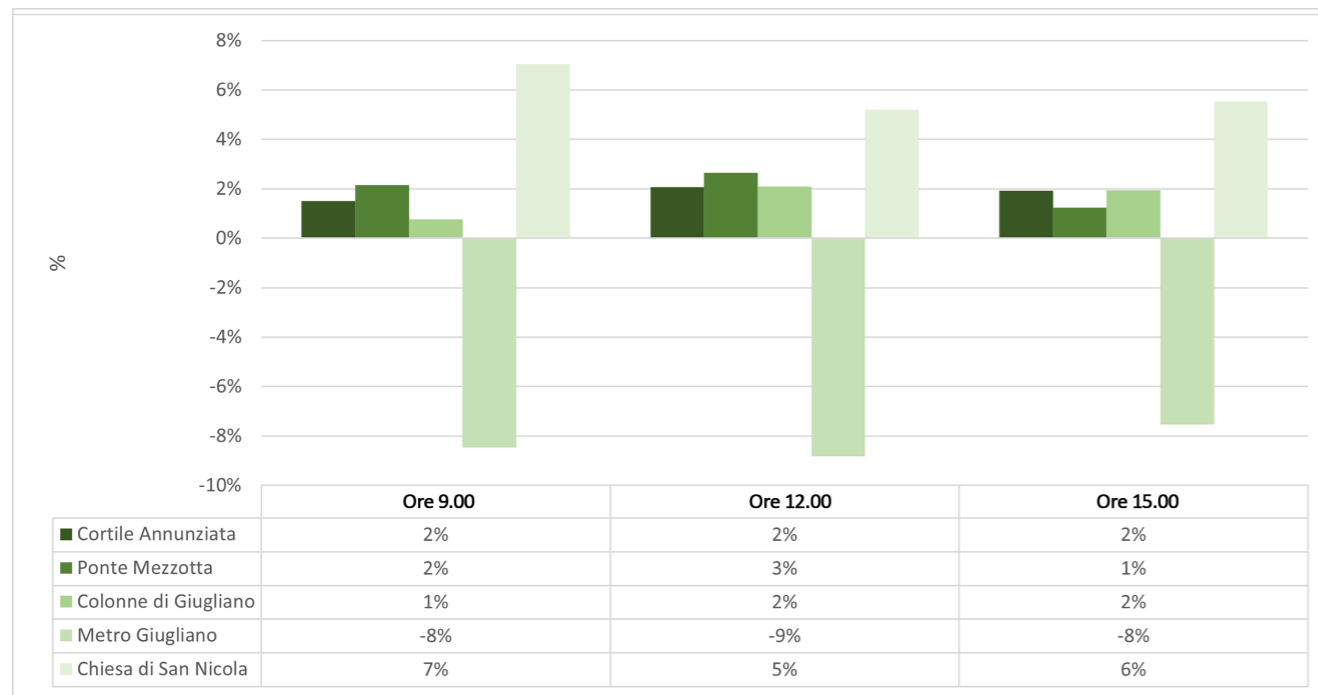


Figura 27 – Differenza espressa in percentuale dell'Umidità Relativa in Inverno tra SDF e Progetto

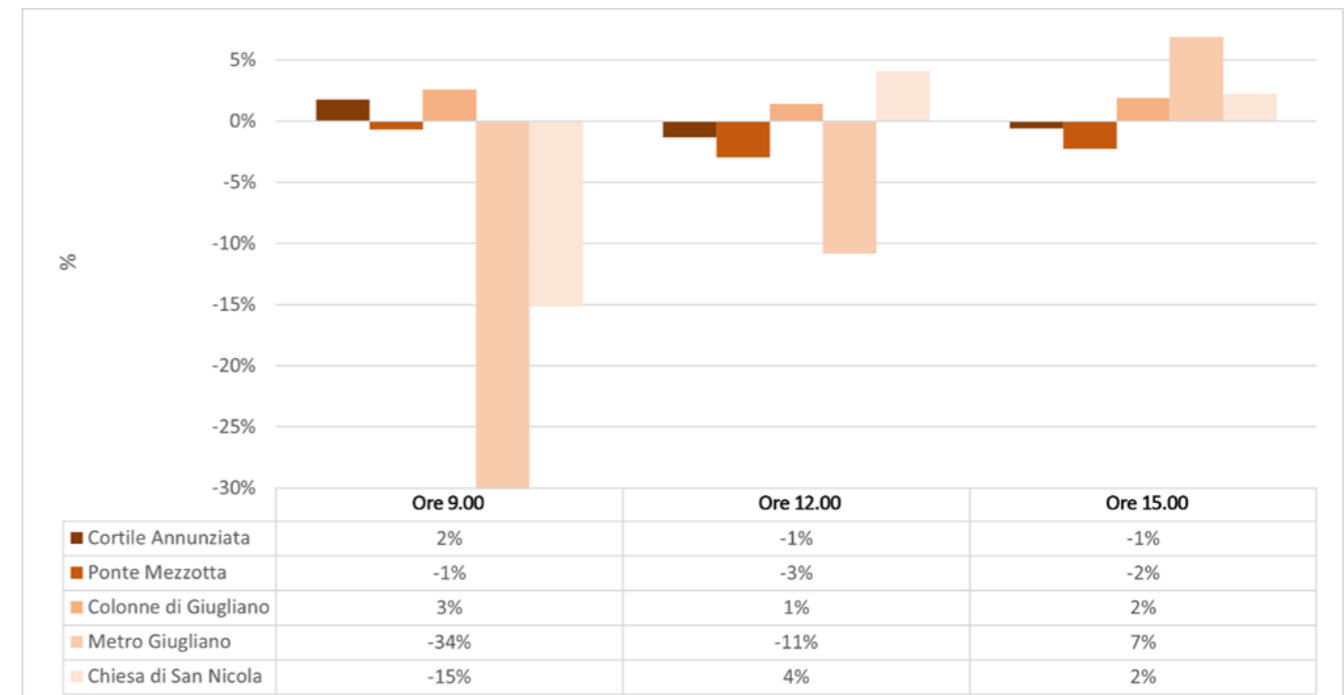


Figura 29 – Differenza espressa in percentuale del PMV in Inverno tra SDF e Progetto

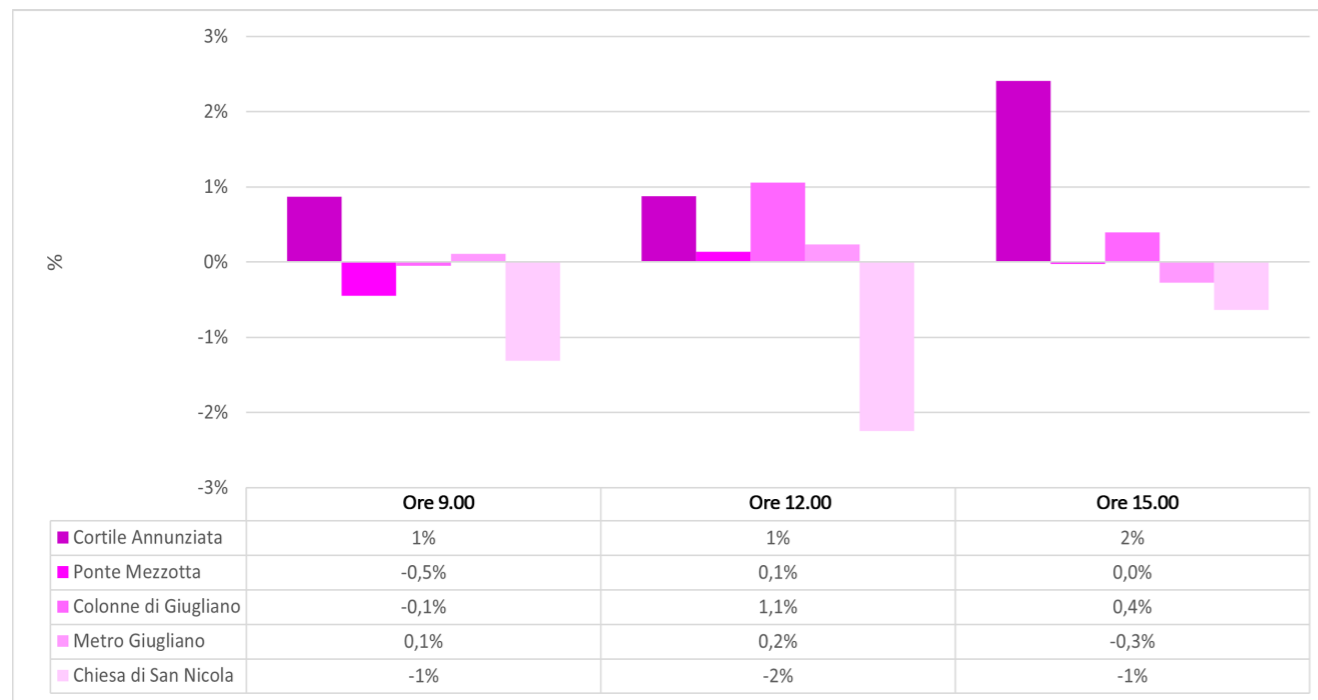


Figura 30 – Differenza espressa in percentuale della Temperatura Media Radiante in Estate tra SDF e Progetto

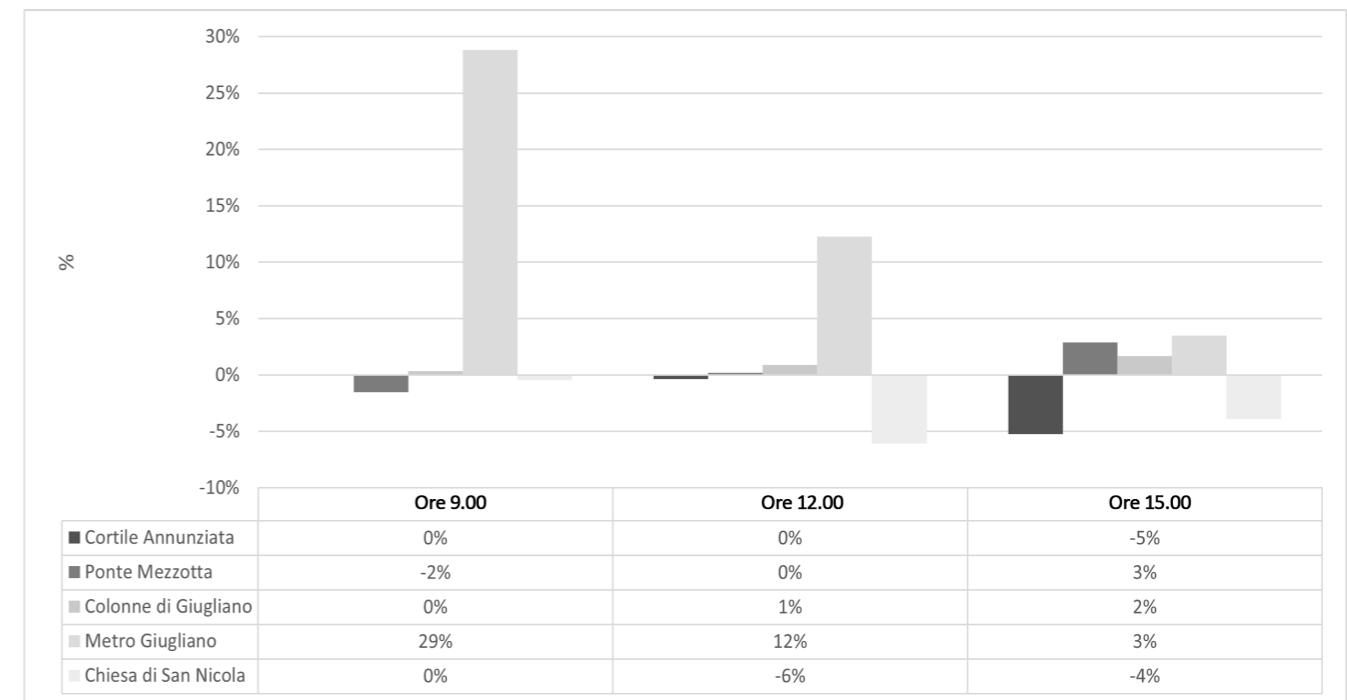


Figura 32 – Differenza espressa in percentuale della Temperatura Superficiale in Estate tra SDF e Progetto

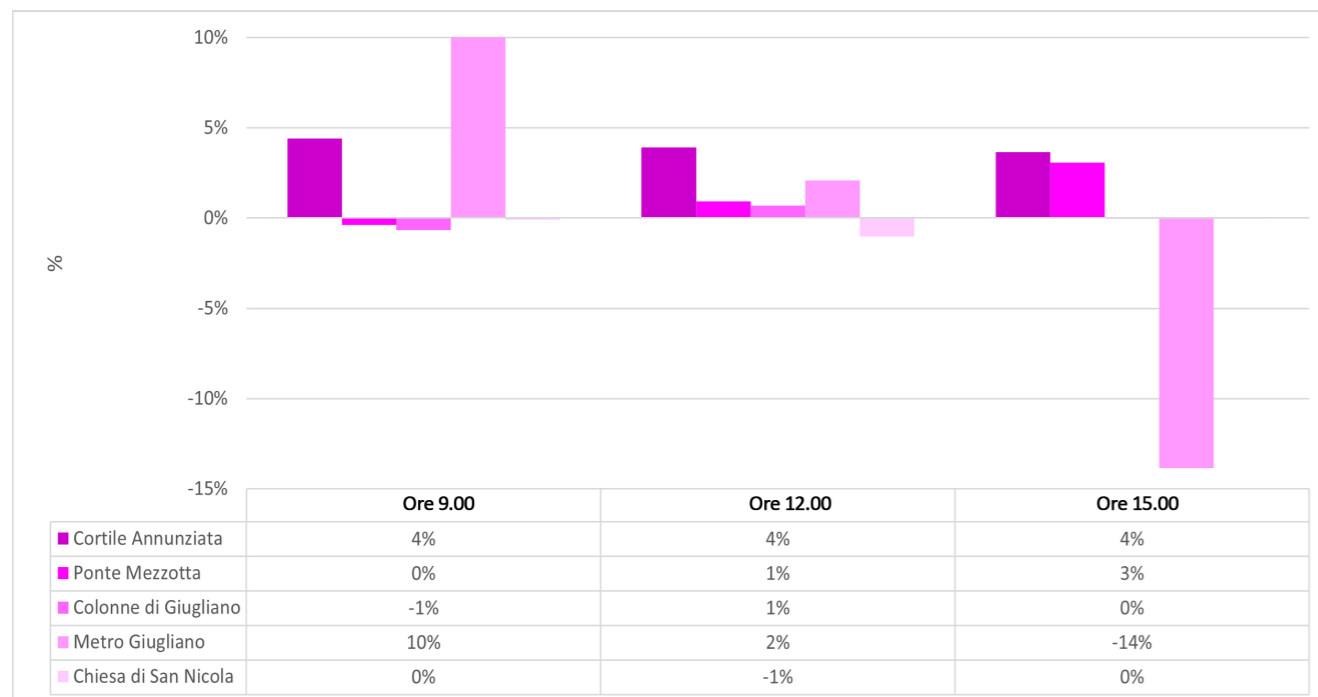


Figura 31 – Differenza espressa in percentuale della Temperatura Media Radiante in Inverno tra SDF e Progetto

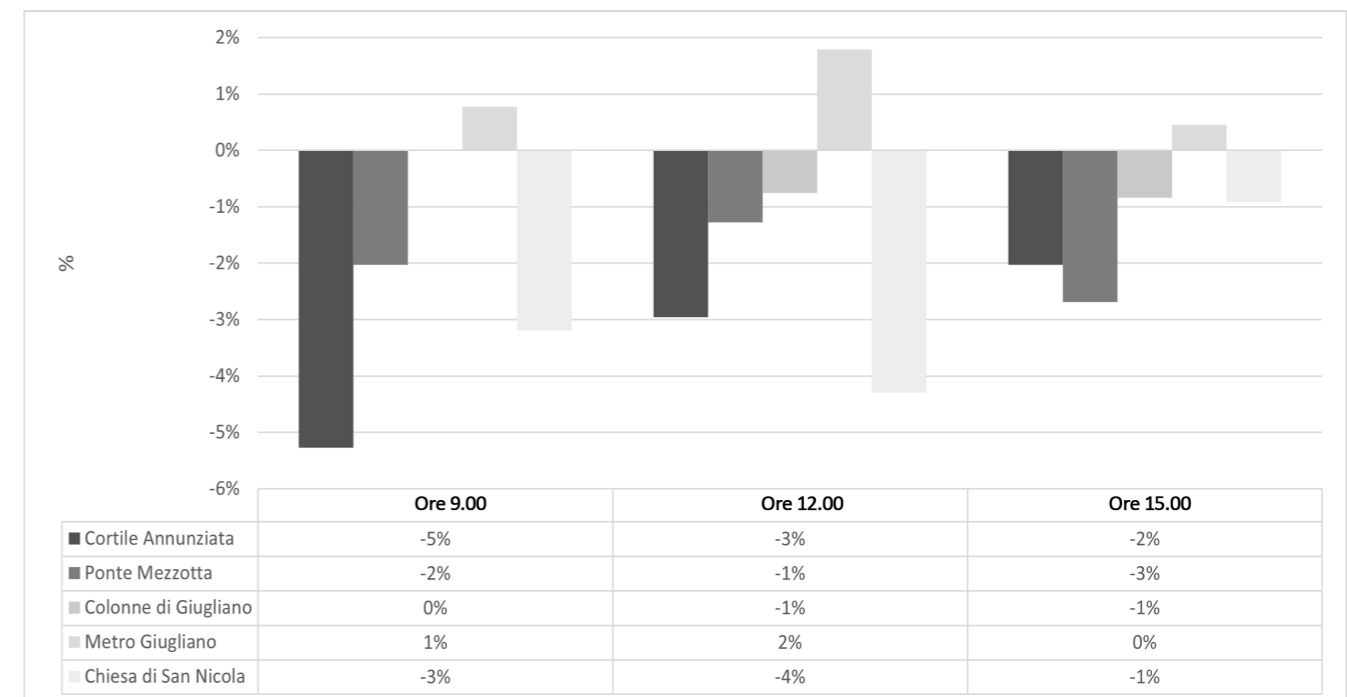


Figura 33 – Differenza espressa in percentuale della Temperatura Superficiale in Inverno tra SDF e Progetto

Da questa introduzione è possibile osservare che l'incremento di questa in estate e in inverno non comporta preoccupazione, in quanto i valori rientrano nei valori di ottimale di benessere per l'essere umano, come è possibile vedere in fig. 34, dal diagramma riportante l'indice di *Scharlau*⁷.

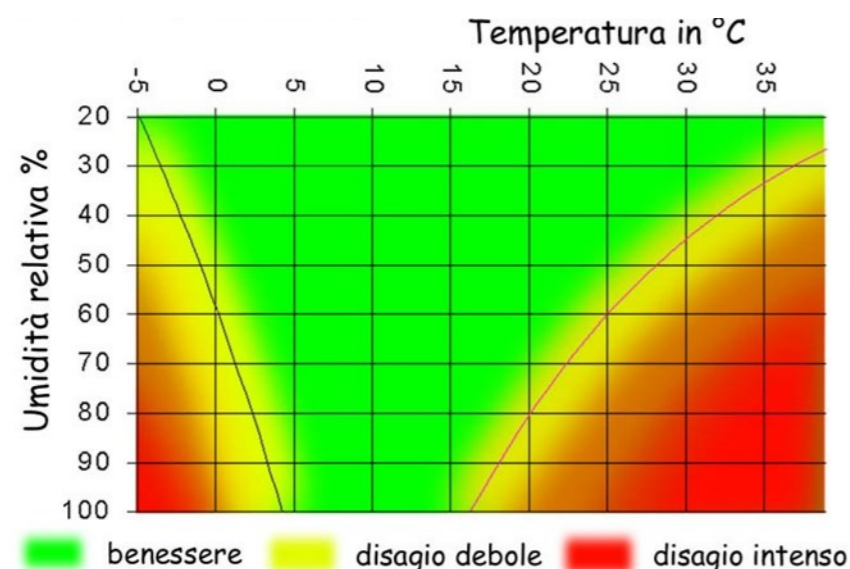


Figura 34 – Stato di benessere fisico e psichico dell'organismo umano (fonte: <https://www.meteoregionelazio.it/2018/07/04/disagio-da-caldo-indici-calore-bioclimatico/>)

I risultati ottenuti per il PMV, anche se non rientrano nella scala del parametro, sono comunque alquanto soddisfacenti, in quanto viene ridotto anche se di pochi decimi, il dis-comfort degli individui che frequentano l'ambiente in esame.

Per la temperatura superficiale (indicatore del comfort termico, parametro chiave nella valutazione dell'isola di calore e nella sua incidenza sul benessere degli individui) si dimostra che i progetti dimostratori nel periodo estivo non hanno effetti di notevole interesse in quanto, a parte del progetto Aversa Annunziata e della Chiesa di San Nicola, i valori ottenuti sono molto inferiori dell'unità.

La temperatura superficiale presenta valori soddisfacenti in 4 aree su 5 per il periodo estivo e in 3 aree su 5 nel periodo invernale. La riduzione della temperatura comporta un miglioramento dell'effetto dell'isola di calore, in quanto si riducono nei progetti le superfici che causano l'accumulo di calore durante il periodo diurno.

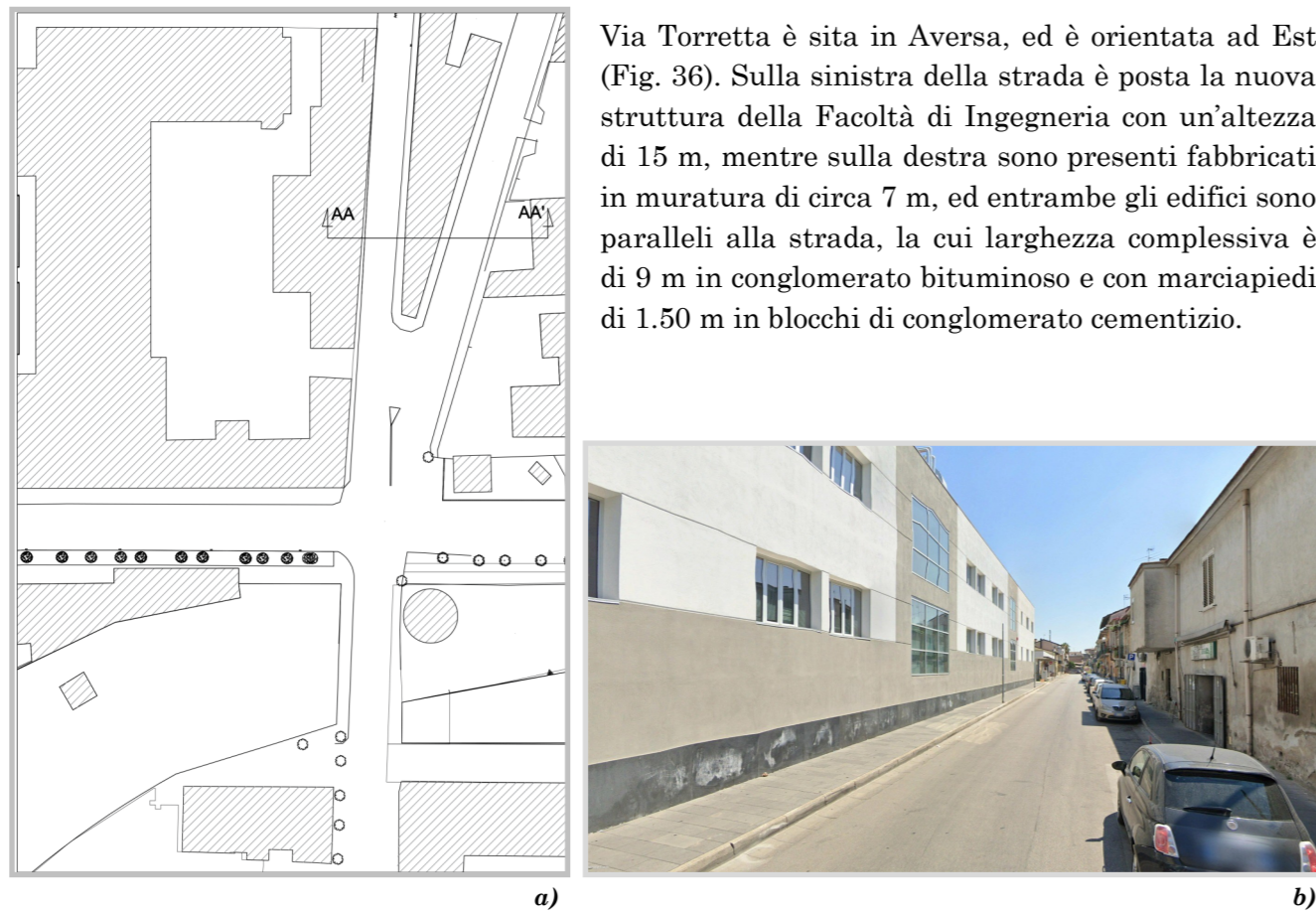
Successivamente si prenderanno in considerazione due strade appartenenti a due progetti dimostratori, ovvero "Aversa Annunziata" e "Green Plaza San Nicola", al fine di confermare i risultati ottenuti in maniera globale in due sezioni.

2.2.1 Confronto tra Via Torretta (Aversa) e Via Colonne (Giugliano)

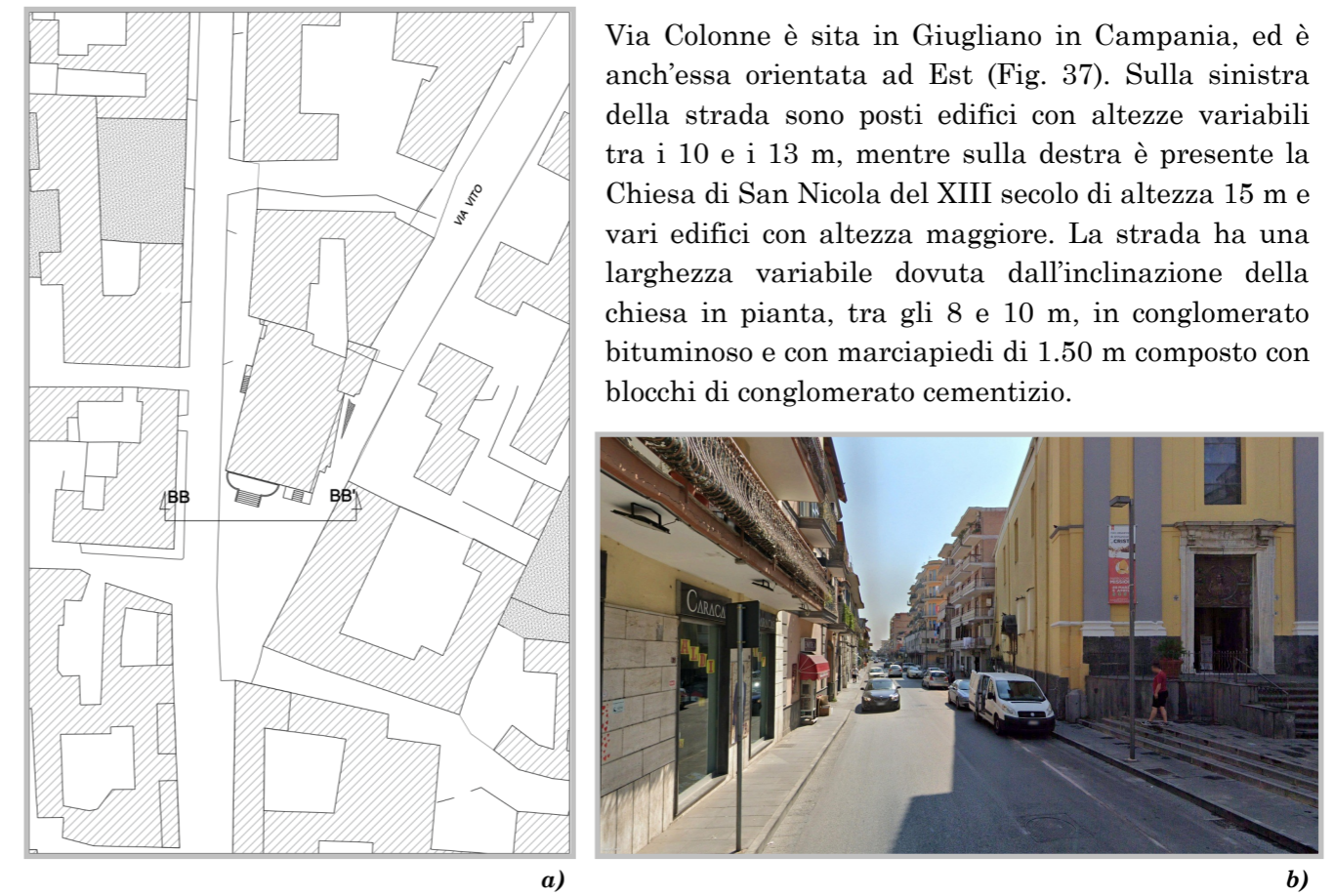


Figura 35 – Individuazione di Via Torretta e Via Colonne, considerate nel confronto.

⁷ K. Scharlau ha definito sperimentalmente, in assenza di vento, le temperature limite dell'aria, in relazione all'umidità atmosferica, oltre le quali l'organismo di un uomo medio e sano accusa disagio.



Via Torretta è sita in Aversa, ed è orientata ad Est (Fig. 36). Sulla sinistra della strada è posta la nuova struttura della Facoltà di Ingegneria con un'altezza di 15 m, mentre sulla destra sono presenti fabbricati in muratura di circa 7 m, ed entrambe gli edifici sono paralleli alla strada, la cui larghezza complessiva è di 9 m in conglomerato bituminoso e con marciapiedi di 1.50 m in blocchi di conglomerato cementizio.



Via Colonne è sita in Giugliano in Campania, ed è anch'essa orientata ad Est (Fig. 37). Sulla sinistra della strada sono posti edifici con altezze variabili tra i 10 e i 13 m, mentre sulla destra è presente la Chiesa di San Nicola del XIII secolo di altezza 15 m e vari edifici con altezza maggiore. La strada ha una larghezza variabile dovuta dall'inclinazione della chiesa in pianta, tra gli 8 e 10 m, in conglomerato bituminoso e con marciapiedi di 1.50 m composto con blocchi di conglomerato cementizio.

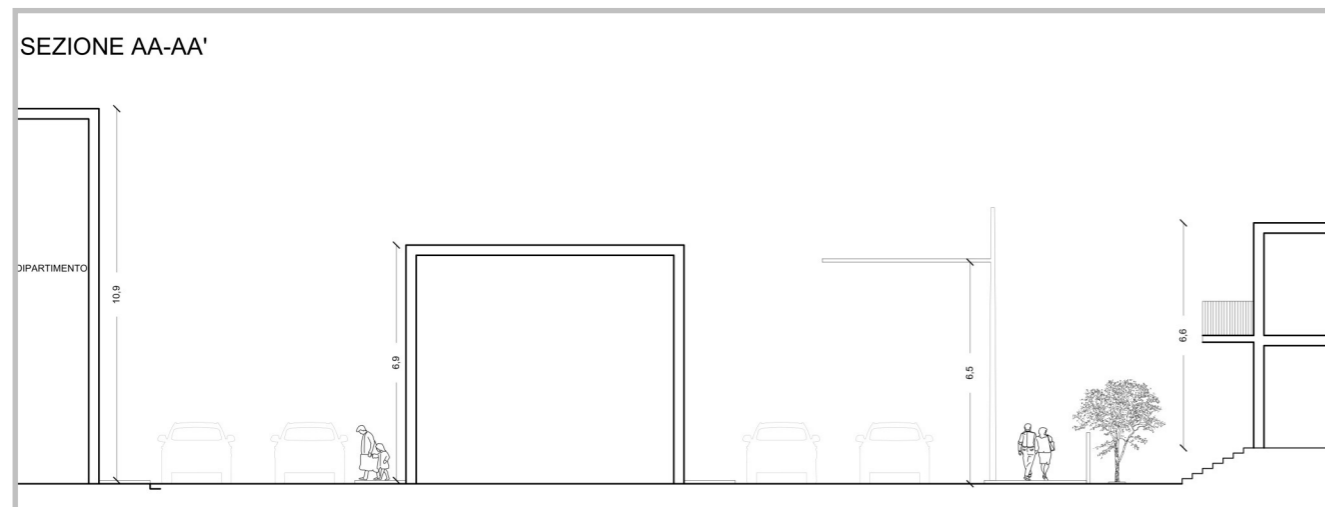


Figura 36 – a) Planimetria dell'area del progetto dimostratore di *Aversa Annunziata*. b) Foto di Via Torretta. Sulla sinistra la Facoltà di Ingegneria. c) Sezione AA-AA'.

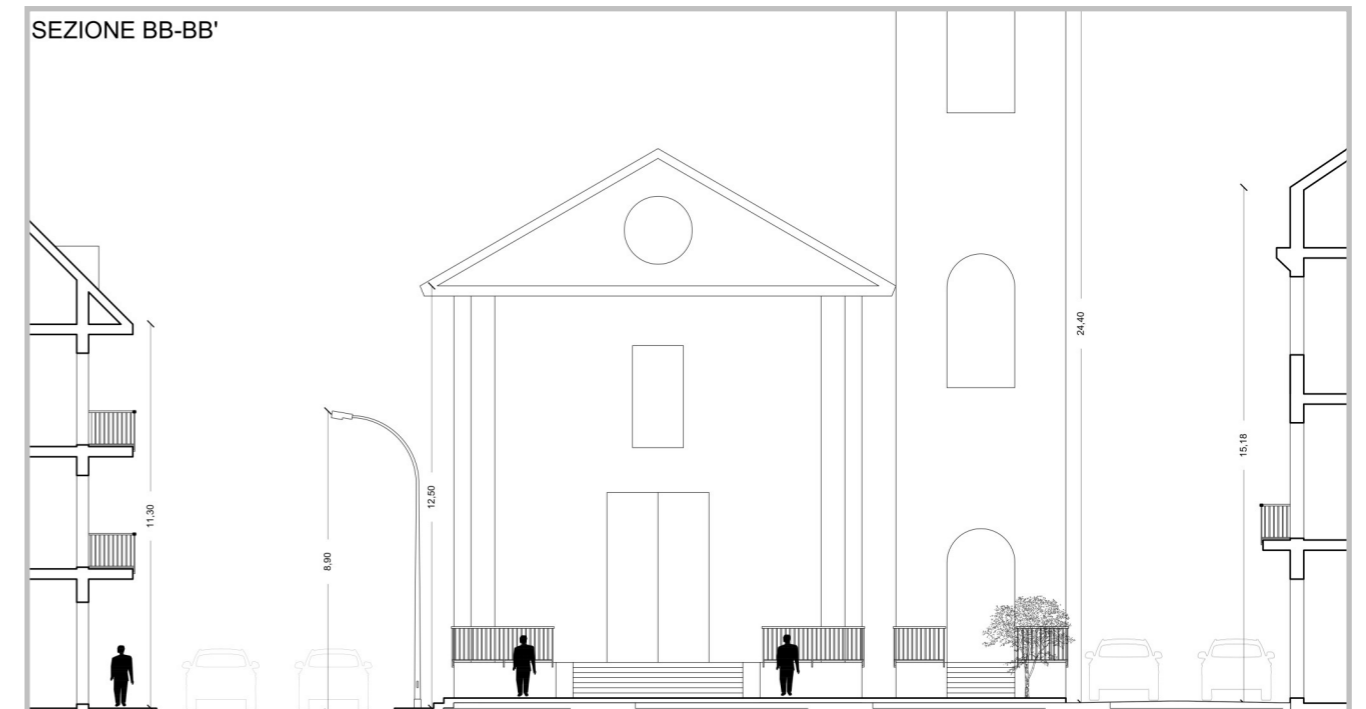


Figura 37 – a) Planimetria dell'area del progetto dimostratore di *Green Plaza San Nicola*. b) Foto di Via Colonne. Sulla destra la Chiesa di San Nicola. c) Sezione BB-BB'.

Nell'area interessata dal PRIN sono stati realizzati dei progetti per poter mitigare gli effetti dovuti all'isola di calore e all'aumento degli eventi piovosi improvvisi nel periodo invernale in base alla tecnologia delle GSI. In queste due aree di riferimento sono stati sostituiti l'asfalto con la pietra lavica, e le pavimentazioni dei marciapiedi con materiale chiaro, per ridurre la quantità di calore catturata dal colore scuro dei marciapiedi precedenti. In base alle sezioni considerate i rapporti H/W sono riportati nella Tabella III.

	H (m)	W (m)	H/W
Via Torretta	11.00	8.60	1.28
Via Colonne	15.00	11.00	1.36

Tabella III – Rapporto H/W delle strade di Via Torretta e Via Colonne.

Sono riportati, inoltre, lo studio delle ombre del mese estivo, le quali saranno utili per valutare i risultati ottenuti, in quanto la posizione dell'ombra nel periodo estivo è un effetto benefico (Fig. 38-39).



Figura 38 – Studio delle ombre al 21 Giugno di Via Torretta. Rispettivamente da sinistra verso destra: 9.00 – 12.00 – 15.00

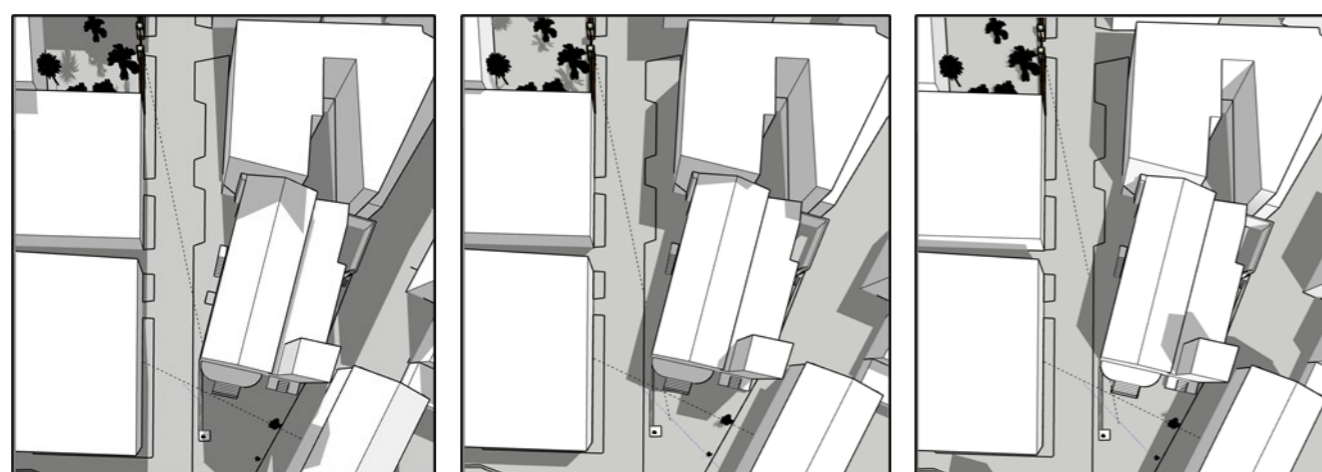


Figura 39 – Studio delle ombre al 21 Giugno di Via Torretta. Rispettivamente da sinistra verso destra: 9.00 – 12.00 – 15.00

Dalle analisi finora effettuate è quindi possibile confrontare le due strade, estrapolando tramite le simulazioni effettuate con ENVI-Met i parametri:

- Temperatura potenziale dell'aria;
- PMV (Predicted Mean Vote);
- Temperatura Media Radiante;
- Umidità relativa;
- Temperatura superficiale.

Dal confronto della temperatura potenziale (Fig. 40), le curve rappresentative possono essere considerate parallele per i tre orari considerati, in modo minore rispetto ai lati della strada e con un leggero aumento nella zona centrale della strada, ma entrambe decrescenti da sinistra verso destra, ed in entrambe i casi vi è un miglioramento rispetto allo Stato di Fatto.

Per quanto riguarda il PMV (Fig. 41), le curve hanno un andamento che può essere considerato costante per il tratto di strada, mentre in corrispondenza dei marciapiedi, il valore cade a picco. L'andamento tra le due zone è molto simile alle 9.00, mentre per quanto riguarda le ore 12.00, in Via Colonne, vengono raggiunti valori bassi molto più velocemente di quelli di Via Torretta, i quali si invertiranno alle ore 15.00. Questo effetto è spiegabile dallo studio delle ombre e dalla forma planimetrica considerata, in quanto come detto in precedenza la chiesa non è parallela alla strada, e quindi avrà un'ombra più estesa rispetto a quella di Via Torretta. Ma anche in virtù di questo è possibile schematizzare i due risultati come omogenei, e i risultati ottenuti nel progetto, anche se in maniera molto minima rispetto a quella della T.P. sono migliori.

L'andamento delle curve ottenute dal confronto della Temperatura Media Radiante (Fig. 42), sono molto simili a quelle ottenute dal PMV, con l'unica differenza che nella parte centrale si ha un lieve incremento di temperature mentre si ha un decremento in corrispondenza del marciapiede dove è stato utilizzato un materiale chiaro, avendo così la dimostrazione che il materiale chiaro, trattenendo meno calore, ha un effetto benefico.

L'umidità relativa in situazioni di benessere è racchiusa nell'intervallo 35-65%, dove valori molto bassi indicano un clima molto secco, mentre per valori molto superiori a quelli limiti si ottiene un clima umido, riscontrabile, ad esempio, in giornate di pioggia dove l'umidità relativa può raggiungere valori dell'80-90%. In virtù di ciò, l'andamento delle curve riguardanti l'umidità (Fig. 43) sono molto simili a quelli ottenuti con la Temperatura Potenziale, inizialmente con valori crescenti da sinistra verso destra, per poi diventare alquanto costanti dopo le 12.00. Dalle 9.00 alle 15.00, è possibile notare una traslazione verso valori più bassi, in particolare: alle 9.00 si riscontrano valori percentuali dell'45-55%, alle 12.00 valori del 35-45%, ed infine alle 15.00 del 25-35%.

Ultimo parametro da confrontare è quello della Temperatura Superficiale (Fig. 44), con andamento simile a quello ottenuto dalla Fig. 41 e 42. Anche in questo caso le ombre e la geometria della chiesa giocano un ruolo fondamentale in Via Colonne.

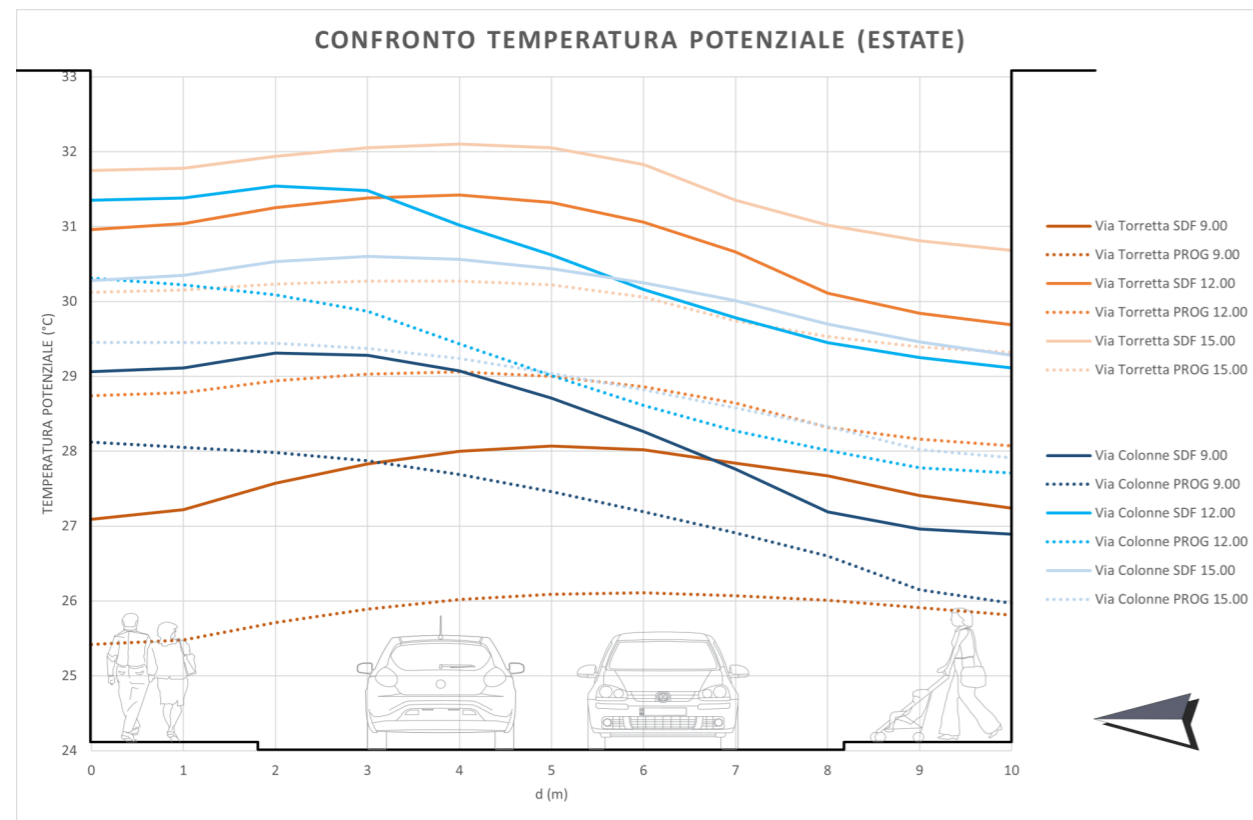


Figura 40 – Confronto Temperatura Potenziale

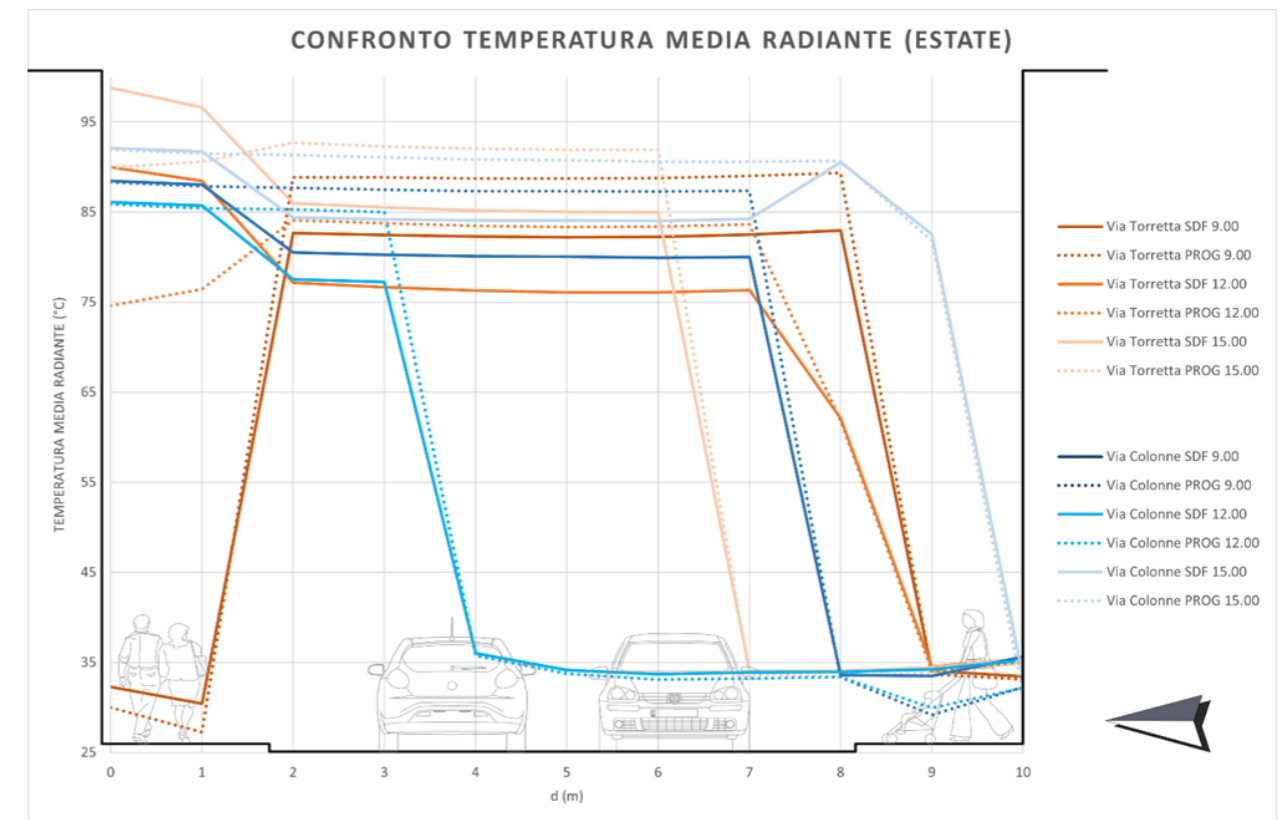


Figura 42 – Confronto Temperatura Media Radiante

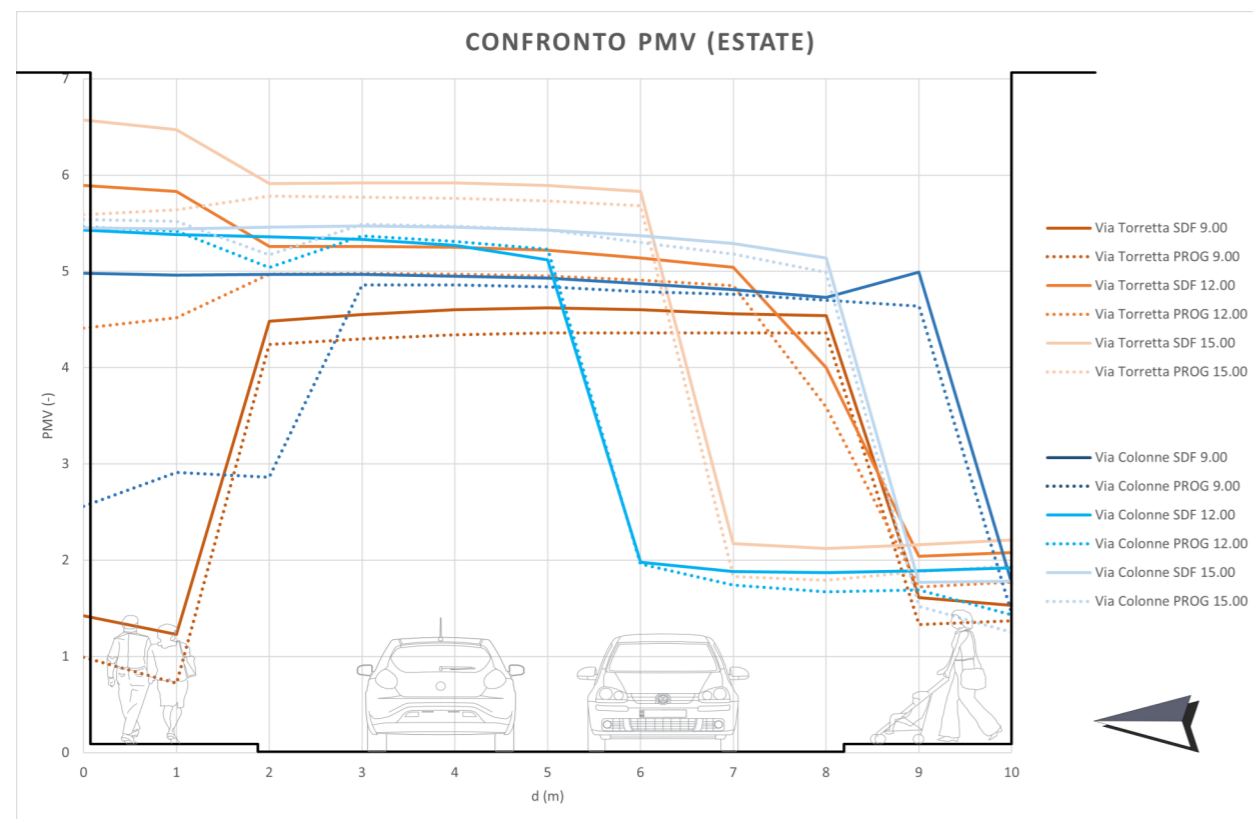


Figura 41 – Confronto PMV

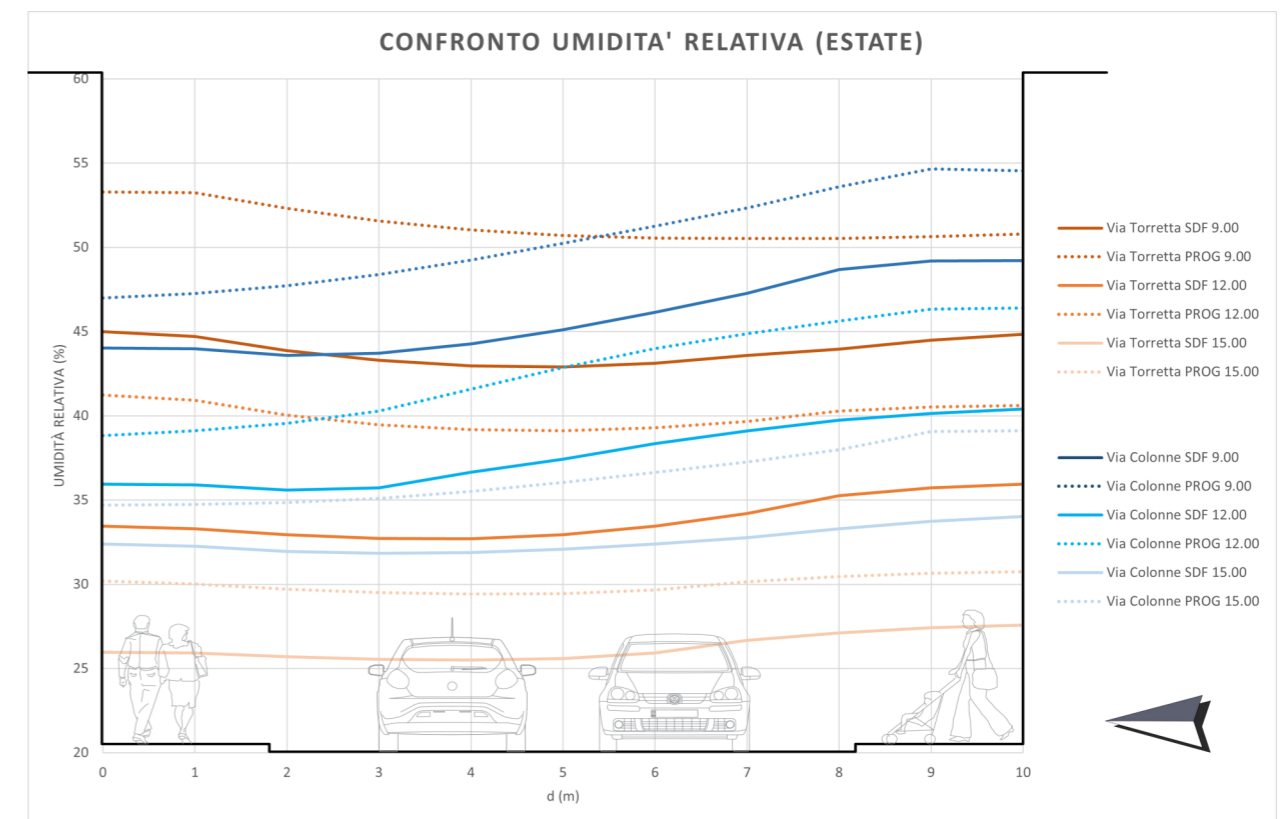


Figura 43 – Confronto Umidità Relativa

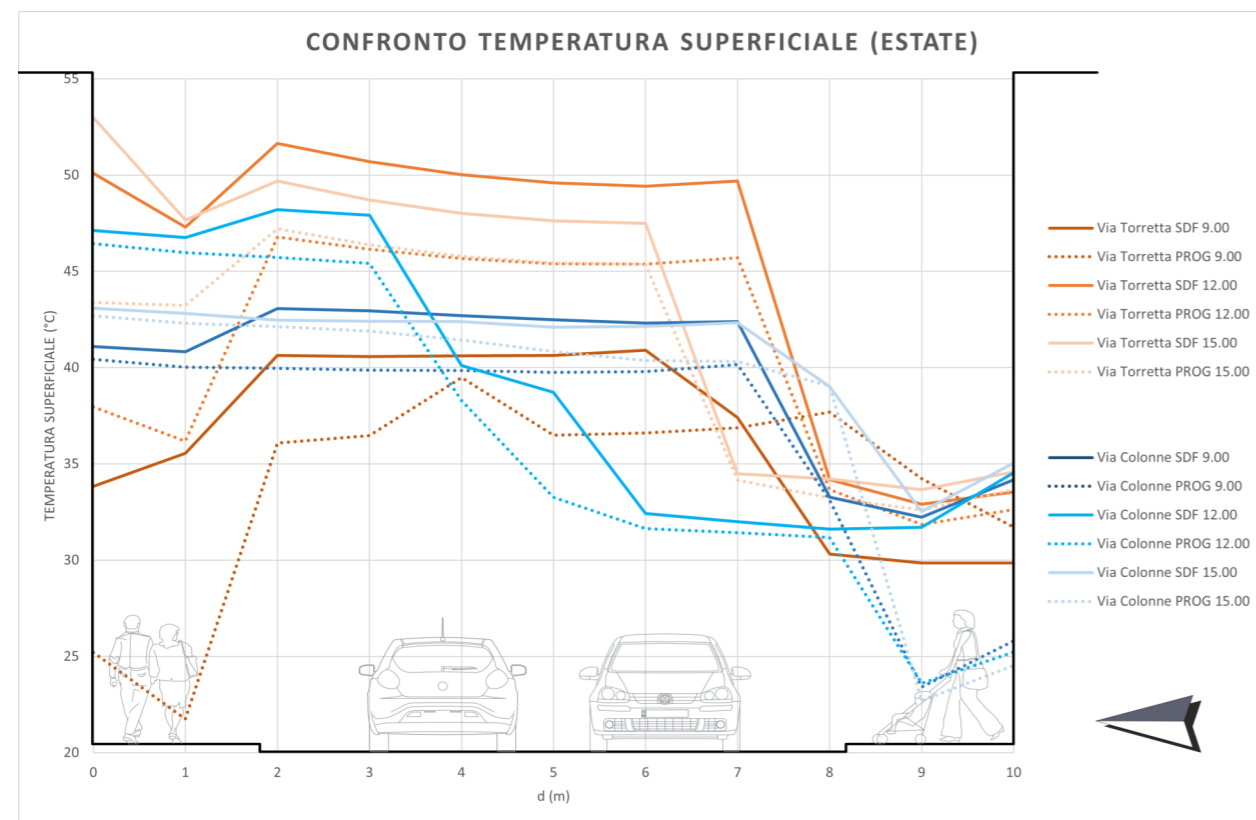


Figura 44 – Confronto Temperatura Superficiale

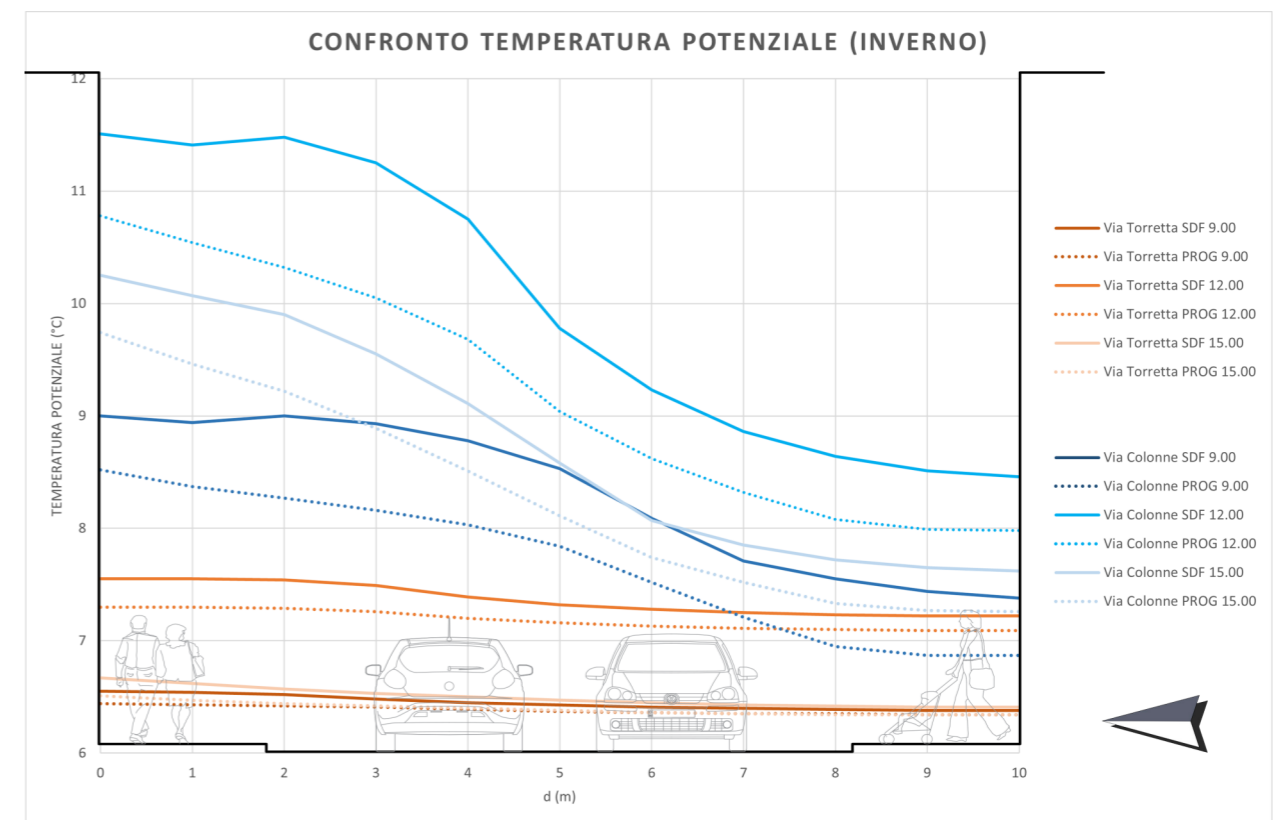


Figura 45 – Confronto Temperatura Potenziale

Nel periodo invernale si ottiene che dal confronto della temperatura potenziale (Fig. 45), le curve rappresentative possono essere considerate anche in questo caso parallele per i tre orari considerati, in modo minore rispetto ai lati della strada e con un leggero aumento nella zona centrale della strada, ma entrambe decrescenti da sinistra verso destra, ed in entrambe i casi vi è una riduzione di temperatura nel progetto.

Per quanto riguarda il PMV (Fig. 46), le curve hanno un andamento che può essere considerato costante per il tratto di strada, mentre in corrispondenza dei marciapiedi, il valore cade a picco. L'andamento tra le due zone è molto simile alle 9.00, mentre per quanto riguarda le ore 12.00, in Via Colonne, vengono raggiunti valori bassi molto più velocemente di quelli di Via Torretta, i quali si invertiranno alle ore 15.00. Questo effetto è spiegabile nello stesso modo come fatto in precedenza per il periodo estivo. I risultati ottenuti nel progetto sono migliori in prossimità del marciapiede mentre è quasi invariabile nel tratto di strada.

L'andamento delle curve ottenute dal confronto della Temperatura Media Radiante (Fig. 47), sono molto simili a quelle ottenute dal PMV, con l'unica differenza che nella parte centrale si ha un lieve incremento di temperature mentre si ha un decremento in corrispondenza del marciapiede dove è stato utilizzato un materiale chiaro, avendo così la dimostrazione che il materiale chiaro, trattenendo meno calore, ha un effetto benefico.

L'andamento delle curve riguardanti l'umidità (Fig. 48) sono crescenti da nord verso sud. Nei progetti dimostratori si verificano incrementi di valori di umidità dell'ordine del 5%.

Ultimo parametro da confrontare è quello della Temperatura Superficiale (Fig. 49), con andamento simile a quello ottenuto dalla Fig. 46 e 47. Anche in questo caso le ombre e la geometria della chiesa giocano un ruolo fondamentale in Via Colonne.

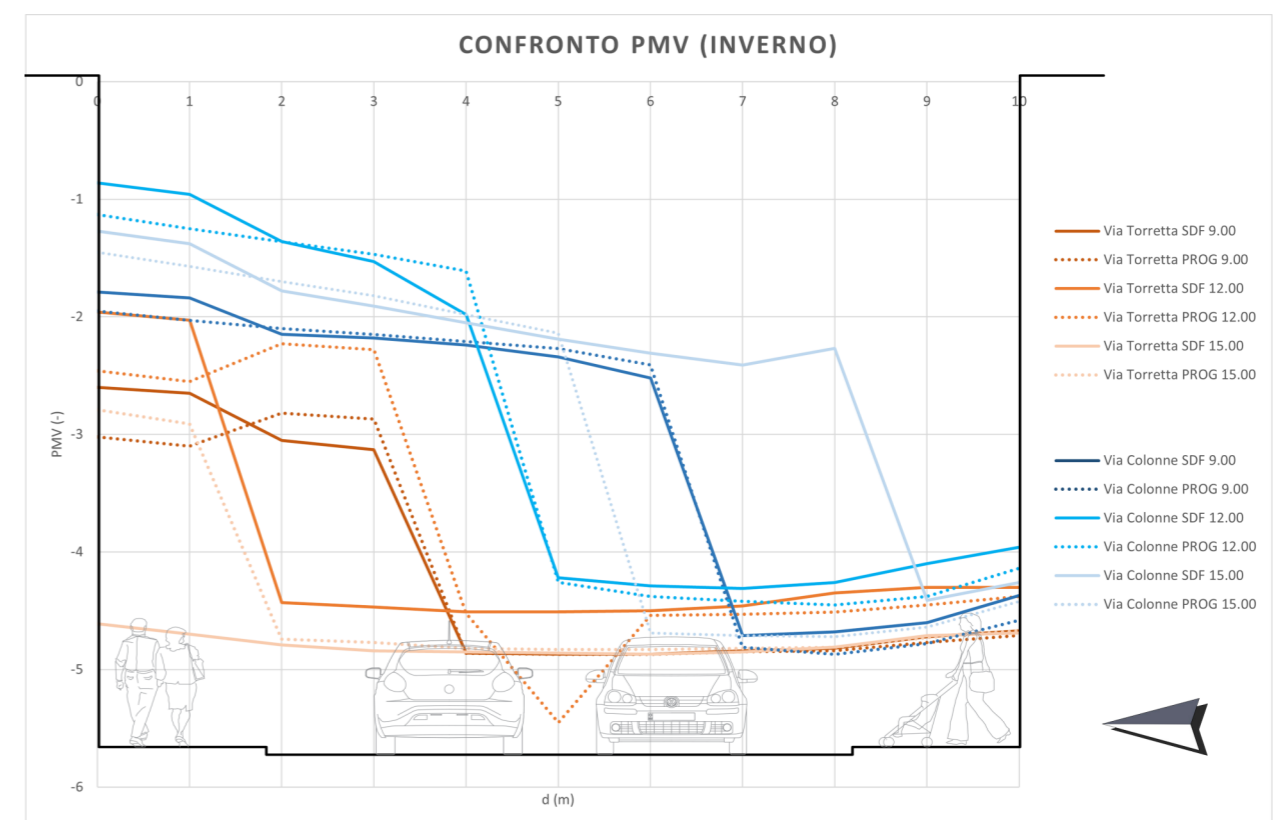


Figura 46 – Confronto PMV

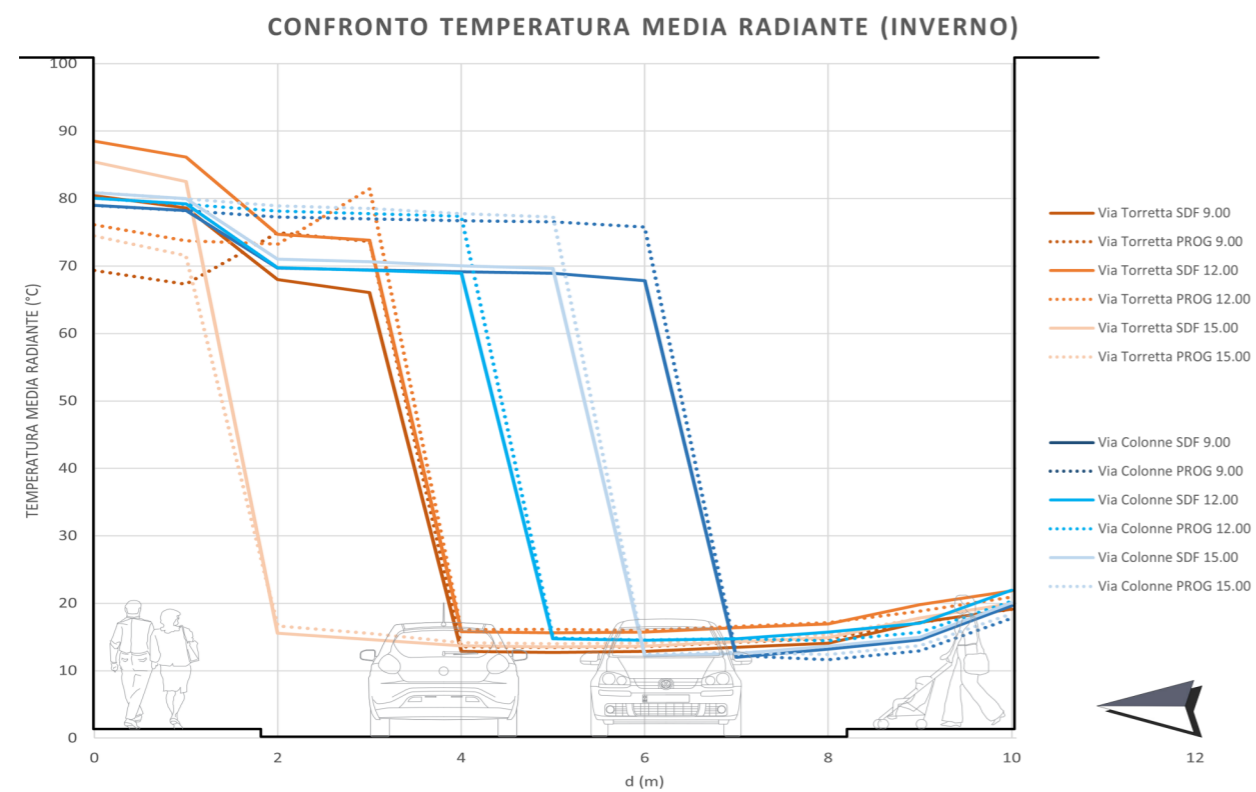


Figura 46 – Confronto Temperatura Media Radiante

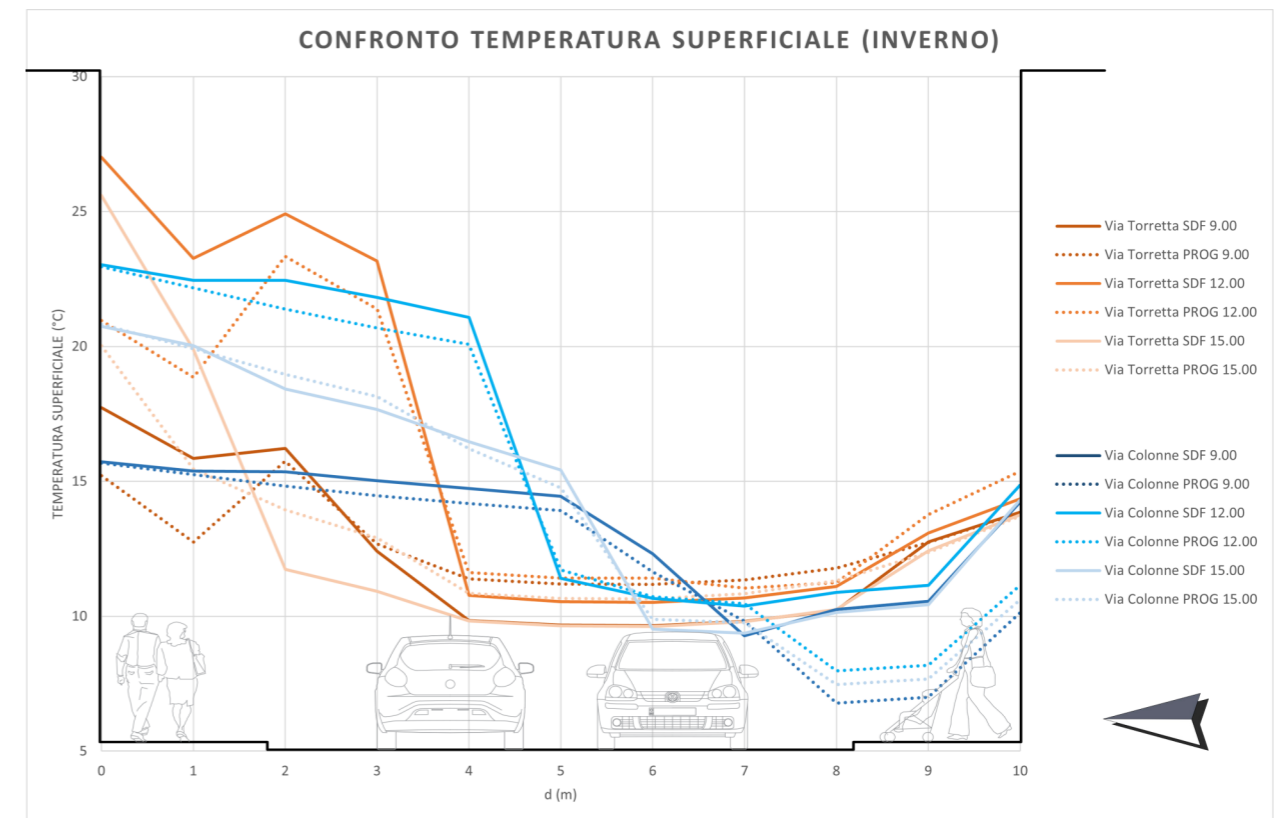


Figura 46 – Confronto Temperatura Superficiale

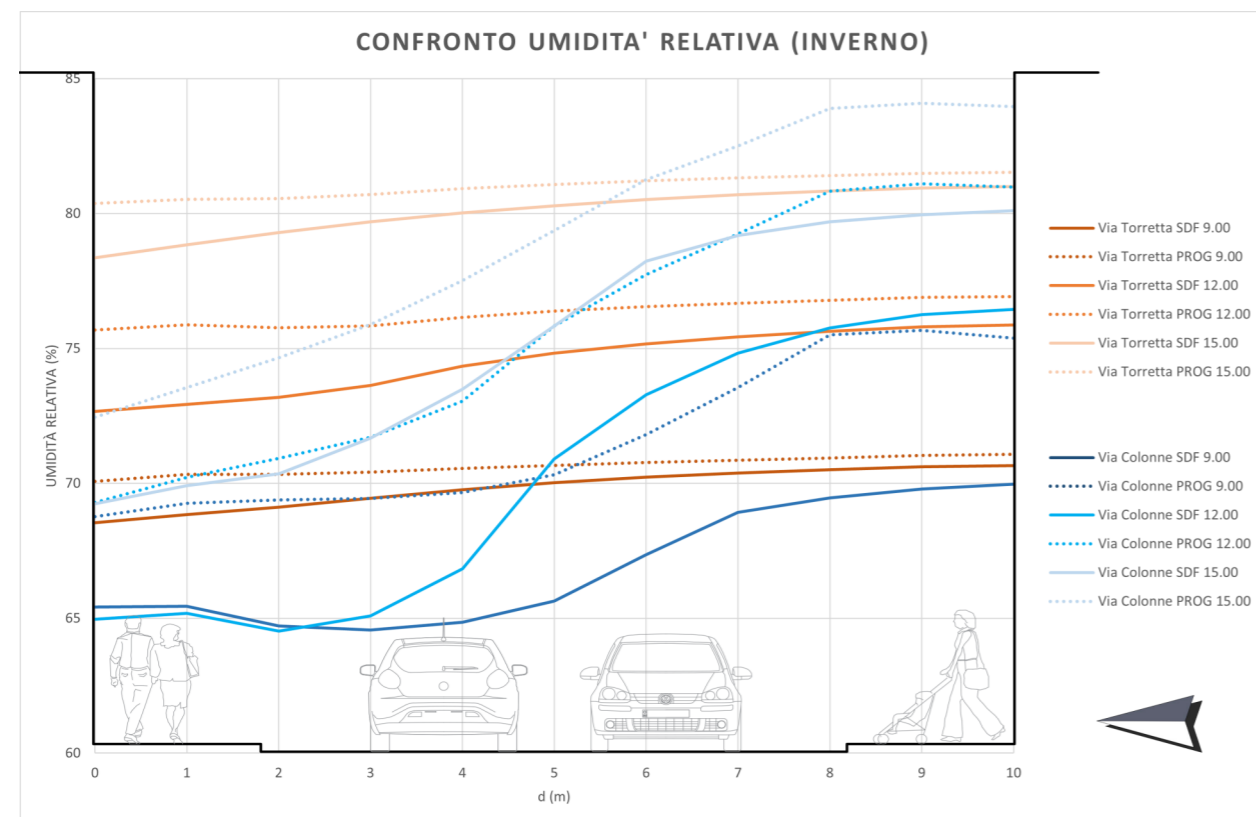


Figura 46 – Confronto Umidità Relativa

Bibliografia

Bisson M., Gattoni L.P. (2009), *Tesi di Laurea in: "Simulazione del microclima urbano di Milano mediante il software ENVI-MET"*, Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano, pp. 10-32

Bruse D., Bruse M., *"ENVI-MET, Decoding Urban Nature"*

Losasso M., Lucarelli M.T., Rigillo M., Valente R., *"Adattarsi al clima che cambia: Innovare la conoscenza per il progetto ambientale"*, Maggioli Editore

Sitografia

<https://www.envi-met.com/>

https://envi-met.info/doku.php?id=apps:biomet_pmv

https://envi-met.info/doku.php?id=intro:modelconcept#envi-met_model_architecture

https://envi-met.info/doku.php?id=apps:biomet_pmv

http://www.villasmunta.it/Libro_della_posta/temperatura_e_umidita.htm

<https://www.ac-ilsestante.it/METEO/umidita/umidita.htm>

<https://www.meteoregionelazio.it/2018/07/04/disagio-da-caldo-indici-calore-bioclimatico/>

https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it

CAPITOLO III

UN CASO DI STUDIO DI ADATTAMENTO
AGLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

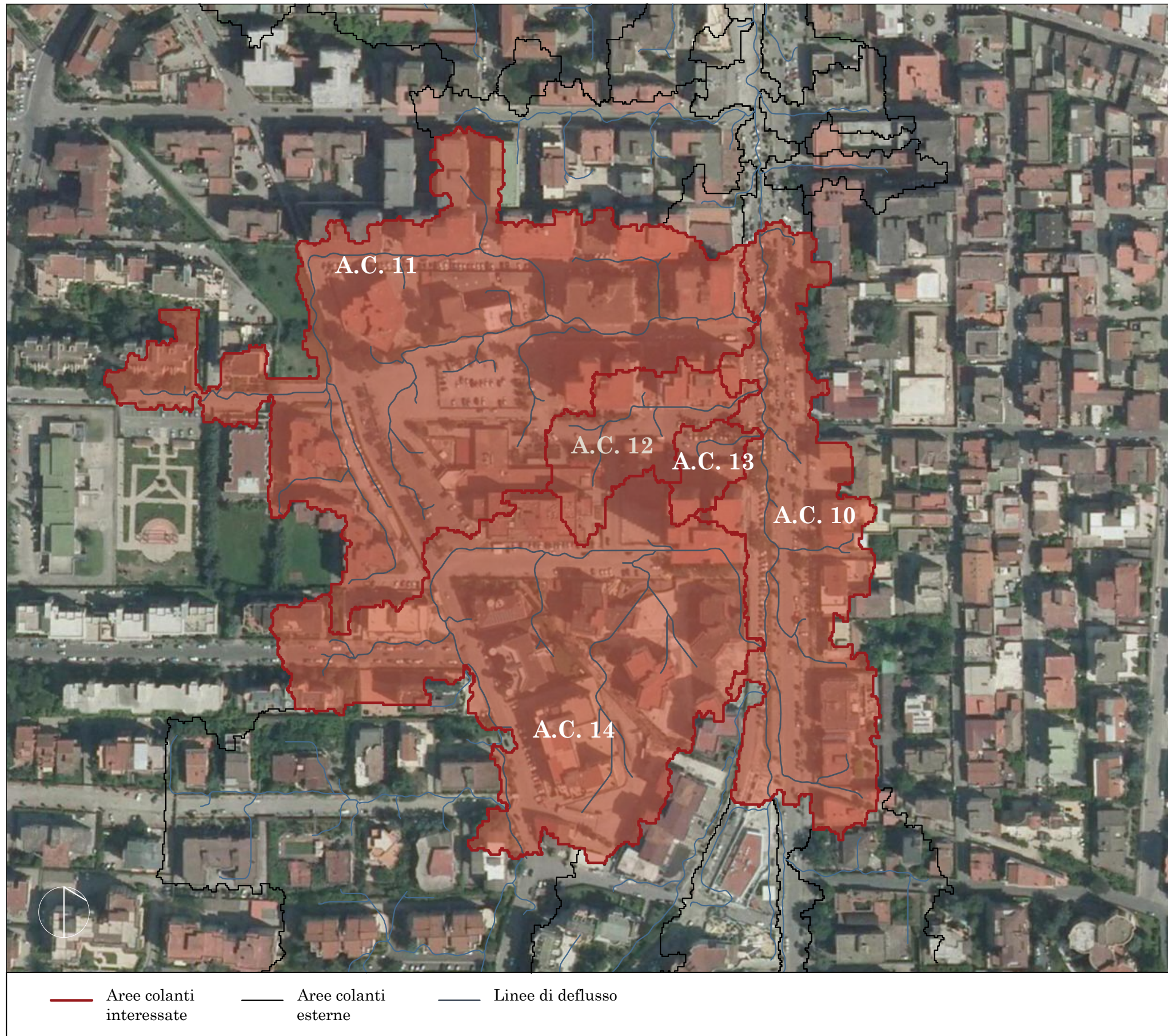


Figura 1 - Analisi dei micro-bacini dell'area in esame.

1. Stato di Fatto

1.1 Inquadramento territoriale

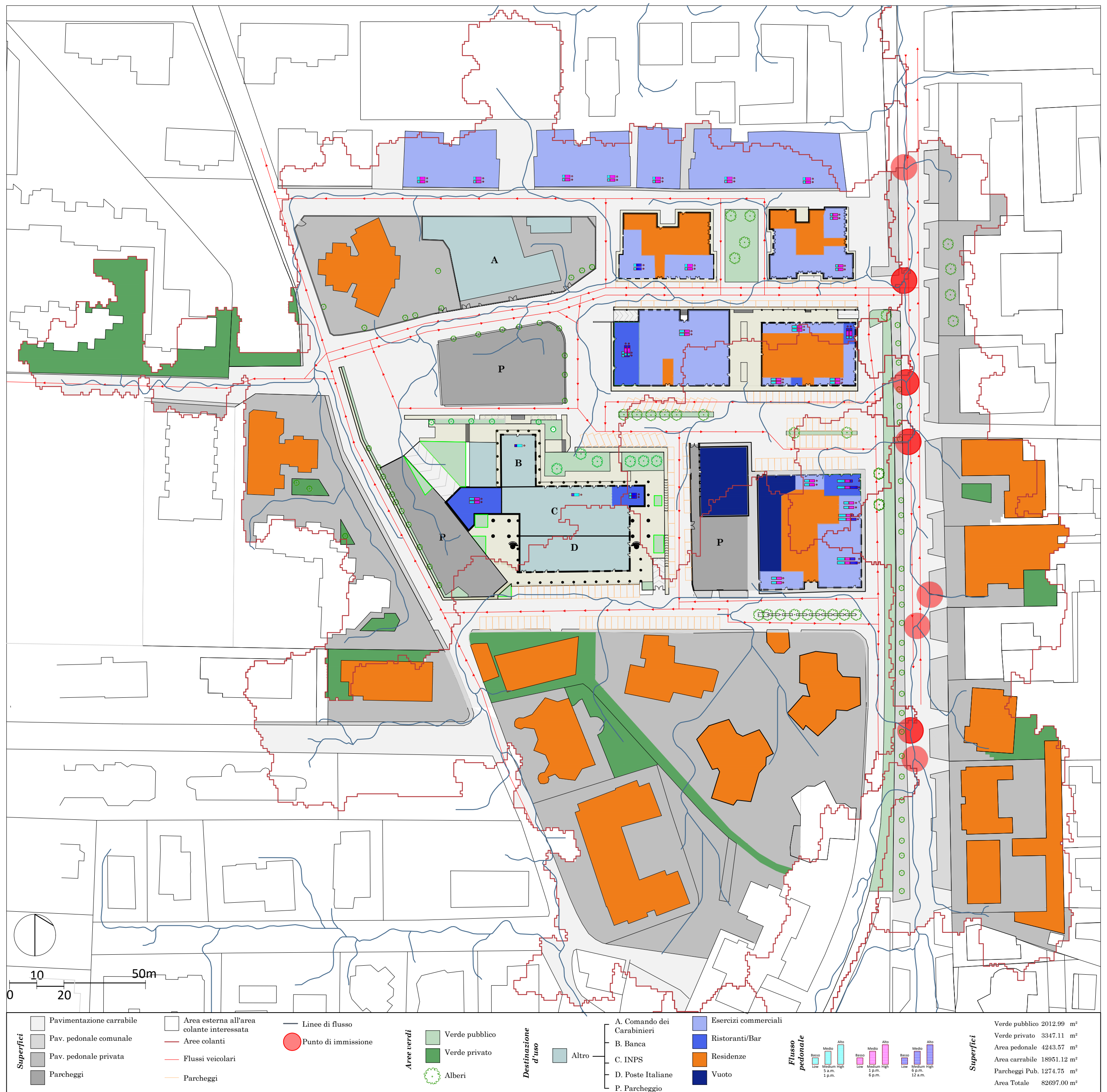
L'area di studio fa parte delle sei aree campione individuate nel progetto PRIN2015 ed è ubicata nella zona sud-ovest del comune di Aversa, ad una distanza di circa 300 m da Porta Napoli, inizio del centro storico della città aversana. L'area in oggetto, che da ora in poi verrà denominata "Aversa Sud", formata da 5 aree colanti (fig. 1), ha una superficie di 82.697 metri quadri. L'area è situata, rispetto a Via V. De Jasi, ad una quota di circa 2 m sopra di essa, ed è proprio questo dislivello una delle cause di allagamento della stessa, in quanto le acque piovane provenienti da questa area, si riversano sulla strada de Jasi, provocando disagi già esposti nel **cap. I**.

Attraverso la stesura della planimetria comprendente i piani terra degli edifici prossimi alle strade, è stato possibile individuare con maggiore dettaglio le varie destinazioni d'uso delle varie attività commerciali presenti nell'area. Grazie a questa planimetria è stato possibile analizzare gli ingressi ai piano terra, che per le acque piovane rappresentano un maggiore rischio e ciò consentirà di effettuare una più attenta progettazione.

Sono stati individuati i flussi pedonali che interessano le varie tipologie economiche presenti in 3 orari, riportando per ogni attività le percentuali di frequentazione, e proprio attraverso quest'analisi è stato possibile constatare che l'attività di maggior interesse pubblico è data dalla presenza dell'INPS, determinando anche un importante flusso veicolare. Inoltre sono stati distinti gli spazi pubblici da quelli privati, individuando così le aree in cui è possibile intervenire.

Dalla planimetria è stato possibile constatare l'eccessiva presenza di area carrabile e della scarsa presenza di vegetazione, rappresentata maggiormente da alberi ad alto fusto, posizionati senza alcuna logica in quanto la loro posizione non riesce a crea spazi di *benefit* per la popolazione, lasciando scoperte molte aree soprattutto nei periodi di maggiore caldo.

Tavola I - INQUADRAMENTO TERRITORIALE AREA "AVERSA SUD" - PLANIMETRIA GENERALE PIANI TERRA



Nell'area è ancora presente l'edificio della stazione della linea ferroviaria che collegava Napoli a Piedimonte Matese, ovvero "l'Alifana" (fig. 2), chiusa il 20 febbraio 1976, in quanto a causa della crescente urbanizzazione, il servizio ferroviario non risultava più adeguato alle esigenze della popolazione; sono infatti ancora visibili i binari ormai ricoperti quasi totalmente da asfalto e vegetazione incolta.

L'area considerata è circa al centro delle varie attività principali del comune di Aversa, e rispettivamente dista (fig. 3):

- 0.350 km dalla Facoltà di Ingegneria in Via Roma;
- 0.550 km dalla Facoltà di Ingegneria in Via Michelangelo;
- 0.750 km dall'Ippodromo "Cirigliano";
- 1.00 km dall'Ospedale Civile;
- 1.20 km dalla Stazione Ferroviaria di Aversa;
- 1.50 km dal Castello Aragonese.

All'interno dell'area sono presenti 16 fabbricati civili di cui due per uso prettamente pubblico, ovvero INPS/Ufficio di Poste Italiane ed il Comando dei Carabinieri. Ai piani terra di alcuni di questi edifici sono presenti attività commerciali di vario tipo. Le attività pubbliche presenti hanno il beneficio di ravvivare il quartiere, ma d'altra parte, la loro presenza rende l'area saturata di traffico veicolare, così come è possibile leggere dalla Tavola della "Concentrazione del Traffico" del preliminare del PUC di Aversa (fig. 4). Il manto stradale in questa area è in conglomerato bituminoso e sono presenti vari punti di verde. Sono presenti inoltre 3 parcheggi a cielo aperto facenti parte rispettivamente del Grattacielo, della sede INAIL e del Comando dei Carabinieri.



Figura 2 - Stazione ferroviaria dell'Alifana.

Nel quartiere, da un'attenta analisi visiva in campo (Tav. I e II), sono stati riscontrati vari luoghi in un evidente stato di degrado, dovuto sia al fattore tempo, sia ad una cattiva gestione. Vi sono luoghi in cui i marciapiedi sono più alti del normale, con un'alzata che raggiunge i 20 cm circa, senza alcuna rampa che consentirebbe alle persone portatrici di handicap di poterli percorrere.

In altri tratti dell'assetto cittadino i marciapiedi sono non presenti, troppo stretti, degradati e infestati da piante che non consentono il normale uso di essi.

Sono presenti luoghi isolati che potrebbero essere sfruttati per passeggiate ma per il loro stato di abbandono non possono essere utilizzati.

Inoltre, è da tener conto del collegamento tra Via Vito De Jasi e Via Leonardo Da Vinci, effettuato tramite gradini. Oltre a rappresentare un pericolo (a causa delle condizioni in cui sono) essi costituiscono una barriera architettonica per portatori di handicap e passeggeri, rendendo impossibile l'attraversamento.



Figura 3 - Distanze dall'area campione di alcune delle aree di interesse della città di Aversa

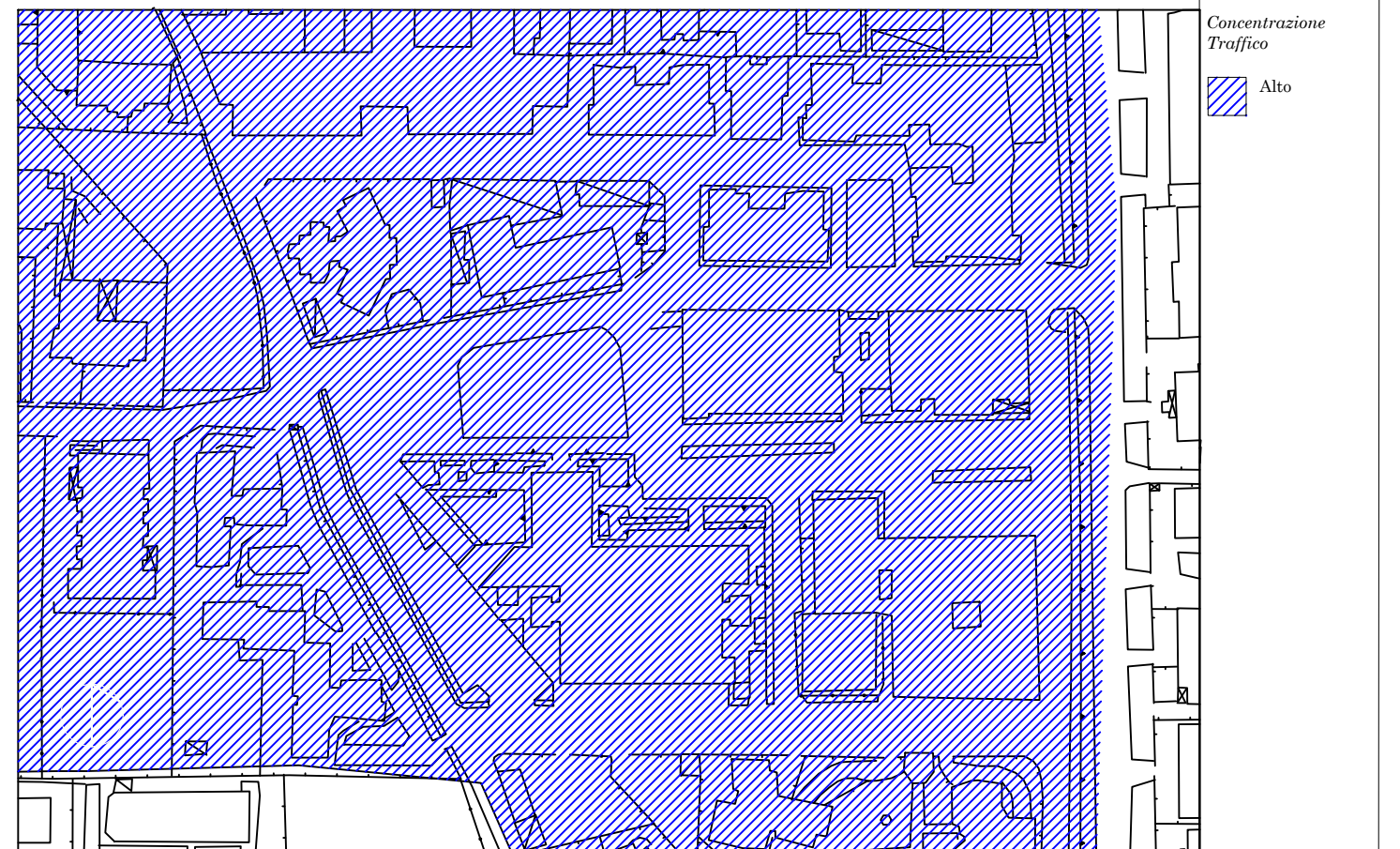


Figura 4 - Stralcio del preliminare del PUC di Aversa della "Concentrazione di traffico".

Fonte: Preliminare PUC Aversa

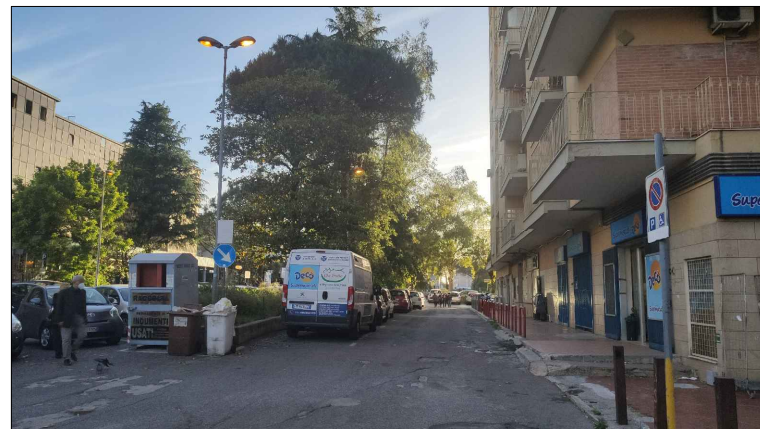
Tavola IIa - ANALISI FOTOGRAFICA



A



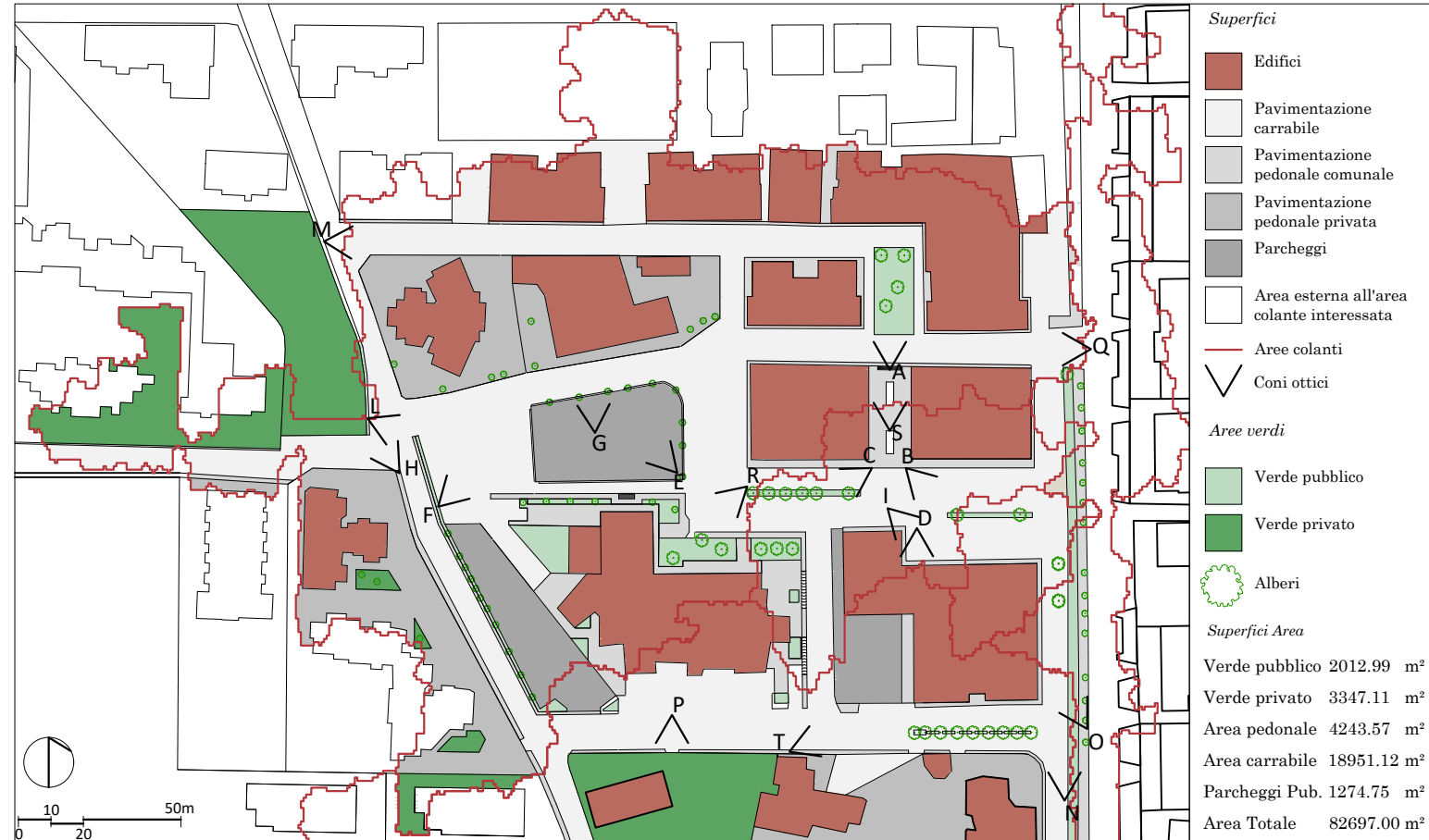
B



C



D



E



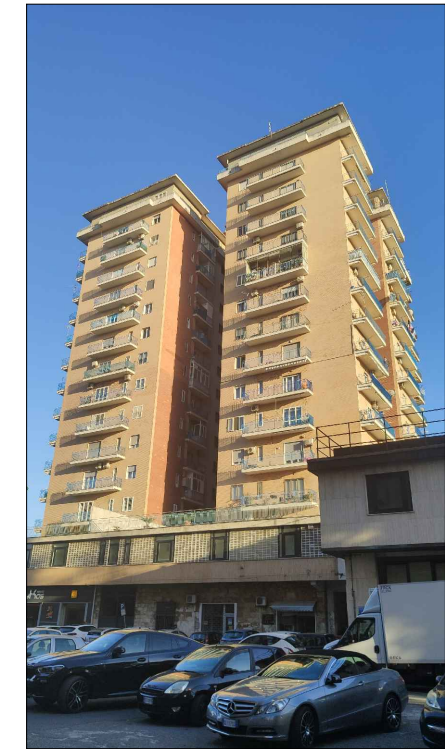
F



G



H



I

- A. Giardino posto in Via Luigi Vanvitelli, con al suo interno 4 alberi di modeste dimensioni, due dei quali raggiungono l'altezza degli edifici circostanti. Questo punto di verde nel contesto di tutto il quartiere potrebbe essere rivisto come luogo di incontro e di svago per i più piccoli.
- B. Piazza G.L. Bernini (vista Est). Questo luogo non presenta nessuna caratteristica di una piazza, e viene usata solo come un parcheggio.
- C. Piazza G.L. Bernini (vista Ovest).
- D. Collegamento pedonale tra Piazza G.L. Bernini e Via De Chirico. Attualmente questo luogo è isolato, abbandonato e senza alcuna identità, mentre potrebbe diventare un punto di valore nel quartiere.
- E. Parcheggio tra Viale degli Artisti e Via Giotto e del Comando dei Carabinieri. Nel periodo estivo in questo luogo si registrano temperature alte causanti disagi ai pedoni, anche per la poca presenza di vegetazione.
- F. G. Parcheggio tra Viale degli Artisti e Via Giotto.
- H. Angolo tra Via L. Giordano e Via Giotto. La vegetazione incolta presente all'interno del lotto si riversa verso i marciapiedi riducendo la larghezza dello stesso, già insufficiente di suo.
- I. Grattacielo Bell'Orizzonte visto da Piazza G.L. Bernini.

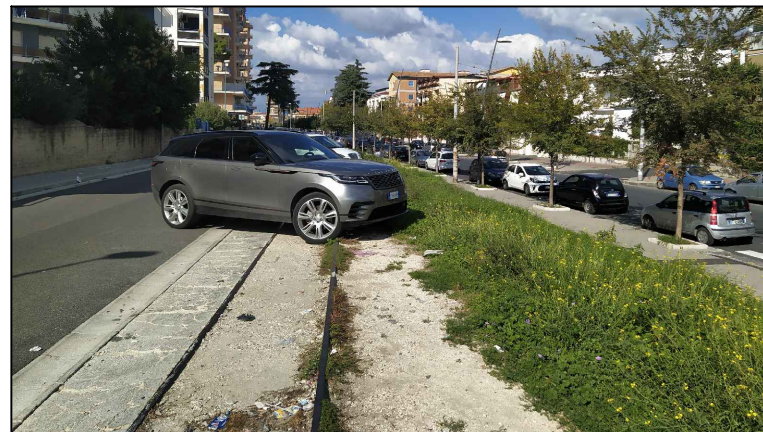
Tavola IIb - ANALISI FOTOGRAFICA



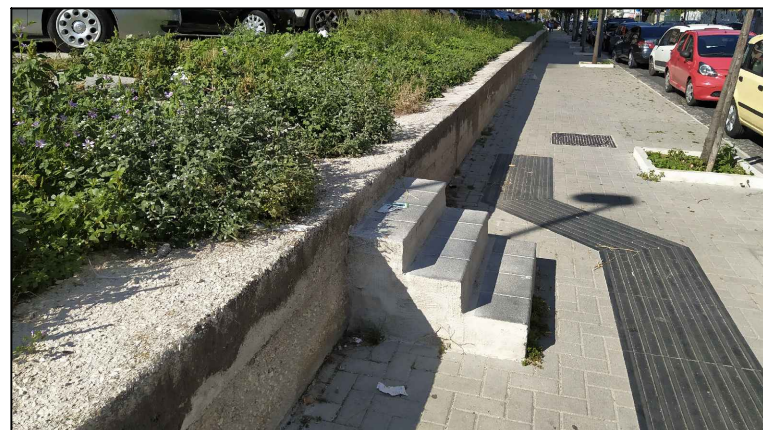
L



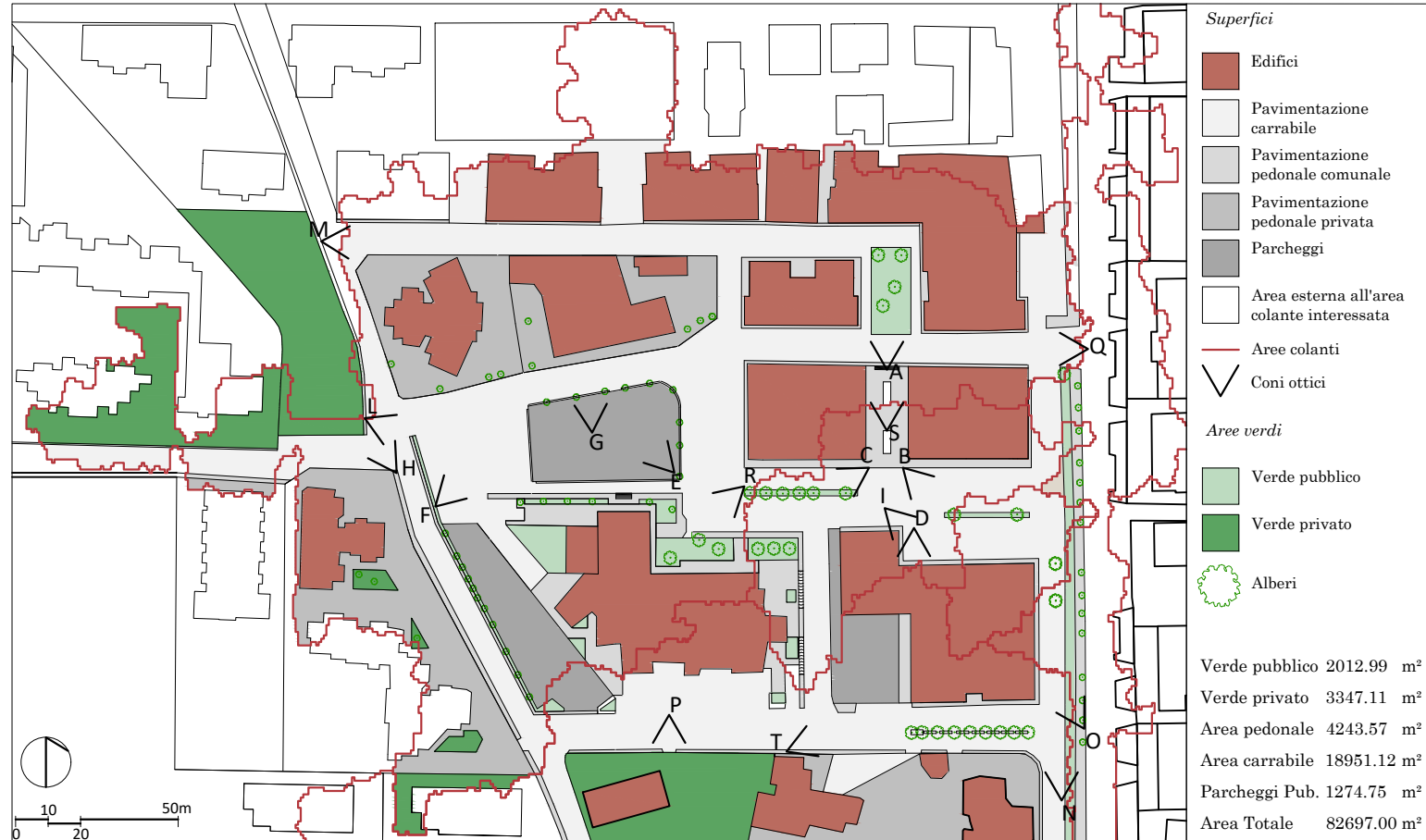
M



N



O



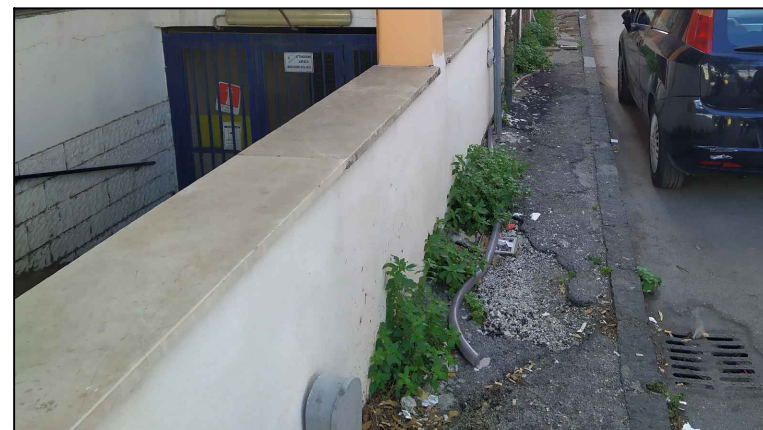
T



P



R



Q



S

- L. Parcheggio tra Via L. Giordano e Via Giotto.
- M. Via M.M. Caravaggio. In questa strada si svolgono parte delle attività commerciali del quartiere.
- N. Via L. Da Vinci. Vista degli ex-binari dell'Alifana utilizzati oggi come guida-parcheggio per evitare di precipitare sul marciapiede al di sotto di essi.
- O. Via V. De Jasi. Collegamento con Via L. Da Vinci, effettuato con pochi gradini, pericolosi per i pedoni; essi potrebbero facilmente essere punti di inciampo, ed inoltre, inutilizzabili per i portatori di handicap.
- P. Particolare in Via De Chirico. I marciapiedi presentano un'alzata non adeguata. In questa foto è presente una pseudo-rampa che favorisce l'ingresso delle sole auto nel parco, ma non consentono continuità di percorso per chi percorre il marciapiede, impedendo quindi ad un portatore di handicap di poter salire sul marciapiede.
- Q. Via degli Artisti. È possibile notare lo stato di degrado che invade questo percorso pedonale, ma soprattutto per la sua inefficienza dovuto alla larghezza, in particolar modo dovuto allo stato in cui esso si trova.
- R. Edificio in cui ha sede l'INAL e le Poste Italiane.
- S. Via De Chirico. Particolare dell'innalzamento del manto stradale dovuto dall'ingrossamento delle radici dell'albero e dal poco spazio concesso all'albero.
- T. Via G. De Chirico.

Le attività presenti in zona possono essere classificate in (Fig. 5):

- Commercio;
- Servizi al pubblico;
- Bar e Ristoranti.

La presenza delle attività detta un flusso di persone, che determinano correnti di traffico veicolare e pedonale. La presenza di numerosi uffici pubblici, determina un flusso veicolare notevole nei rispettivi orari di apertura, congestionando sia il traffico nel luogo interessato che la disponibilità di parcheggi, spingendo gli automobilisti ad occupare anche posti non idonei, come quelli dei binari dell'Alifana. Nell'area non sono presenti, inoltre, piste ciclabili il che costringe i ciclisti a utilizzare le aree carrabili esponendoli ai conseguenti rischi.

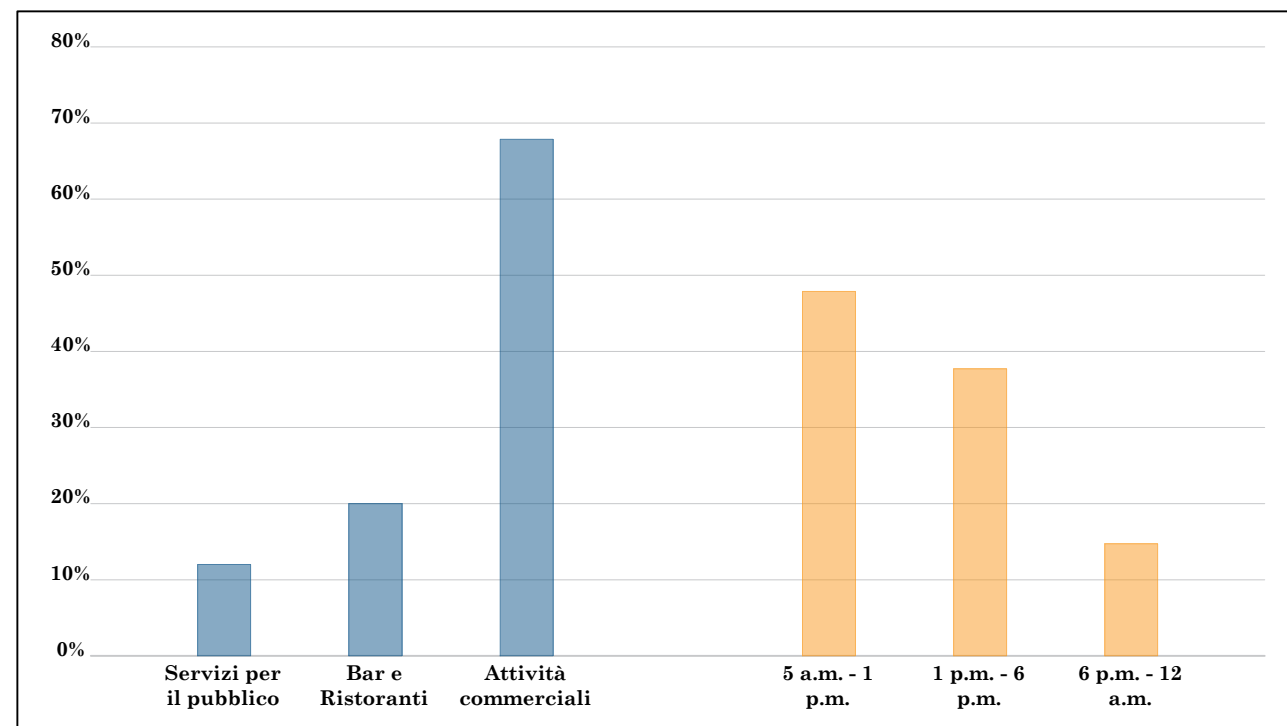


Figura 5 - Percentuali di attività presenti sul territorio con i rispettivi flussi pedonali che le frequentano.

Il comune di Aversa, nella preparazione del PUC e a fronte del sempre più diffuso fenomeno dell'inquinamento acustico si è interessato nella definizione del Piano di Zonizzazione Acustica, con lo scopo di regolamentazione del rumore delle attività umane. In base al DPCM 14/11/1997, vengono definite le classi di destinazione d'uso del territorio:

- **Classe I (aree particolarmente protette):** rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione. Valori limite: diurno **50 LeqA**; notturno **40 LeqA**;
- **Classe II (aree destinate ad uso prevalentemente residenziale):** rientrano in questa classe le aree interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali. Valori limite: diurno **55 LeqA**; notturno **45 LeqA**;
- **Classe III (aree di uso misto):** rientrano in essa le aree urbane interessate da traffico locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali e uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriale. Valori limite: diurno **60 LeqA**; notturno **50 LeqA**;

- **Classe IV (aree di intensa attività umana):** rientrano le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali. Valori limite: diurno **65 LeqA**; notturno **55 LeqA**;
 - **Classe V (aree prevalentemente industriali):** rientrano le aree con insediamenti industriali e con scarse abitazioni. Valori limite: diurno **70 LeqA**; notturno **60 LeqA**;
 - **Classe VI (aree esclusivamente industriali):** rientrano le aree industrializzate e prive di insediamenti abitativi. Valori limite: diurno **70 LeqA**; notturno **70 LeqA**;
- in cui LeqA è il livello sonoro equivalente¹.

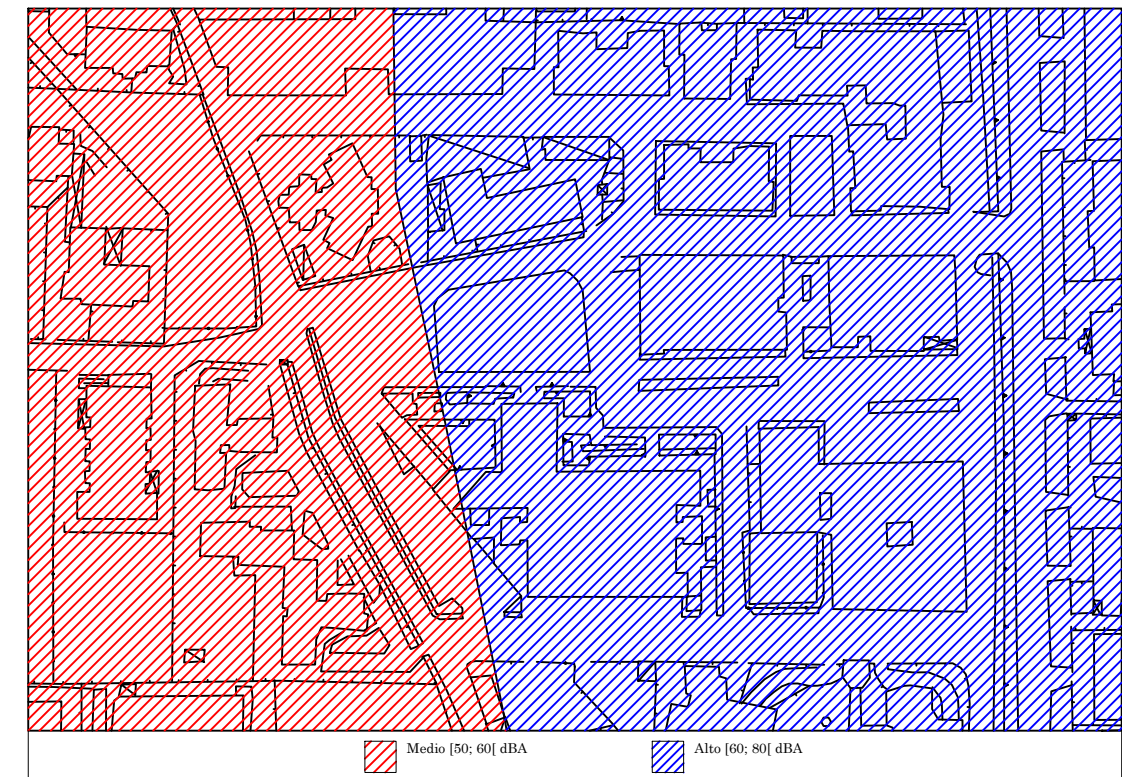


Figura 6 - Stralcio del preliminare del PUC di Aversa: Tavola B5-2b, Inquinamento Acustico.

In base alle indagini effettuate dall'ARPAC (fig. 6) è riscontrabile che l'area in oggetto rientra nel rischio di inquinamento acustico ai livelli *Alto* e *Medio*, con valori che superano di gran lunga la classe di zona acustica a cui dovrebbe appartenere, ovvero nella *Classe IV*.

Il problema dell'inquinamento acustico nell'area in essere, è dovuto gran parte dalla forte concentrazione di traffico veicolare (fig. 5), evidenziato nelle pagine precedenti; una delle soluzioni possibili è quella di incrementare alberi e piante con lo scopo di creare barriere fonoassorbenti naturali. Infatti, è possibile ridurre il rumore attraverso una barriera verde di altezza circa 10-15 cm, al cui centro possono essere posti alberi colonnari. Questa disposizione crea uno schema piramidale che ha lo scopo di assorbire i rumori e rifletterli in parte. Un'altra soluzione, ma molto meno economica, è quella dell'asfalto fonoassorbente: ha la caratteristica di essere un materiale poroso, realizzato grazie all'impiego di bitume contenente polimero. Nel 2013 è iniziata la stesura su diversi tratti in Val Venosta, che ha dimostrato la sua capacità sull'uso di pneumatici vecchi; infatti, l'asfalto presenta coefficienti di aderenza superiori e minore rumorosità². Altre soluzioni sono legate al comportamento individuale come ad esempio: scegliendo le auto ibride; utilizzando di più i mezzi di trasporto pubblici; scegliendo mezzi di trasporto a pedali o elettrici.

¹ Rapporto Ambientale Preliminare: Comune di Aversa

² www.lifegate.it/inquinamento-acustico

1.2 Studio della vegetazione

Lo scopo dell'analisi è quello di analizzare il verde urbano appartenente all'area. Per far ciò è stato effettuato un censimento del verde che contiene un'analisi di dettaglio sulle caratteristiche del verde privato e pubblico delle aree urbane considerate, con identificazione delle principali specie arboree utilizzate, corredato da una planimetria di rilievo del verde urbano (fig. 9). Detto censimento ha consentito di determinare dati quantitativi e qualitativi delle aree verdi e degli alberi presenti sul territorio comunale. Per effettuare la mappatura delle aree verdi e delle alberature si è ricorso a vari strumenti di lettura, tra cui carte comunali, immagini satellitari e sopralluoghi. Attraverso quest'ultima è stato possibile riscontrare alcuni *deficit* dovuti ad alberi che a causa del poco spazio previsto alla base per lo sviluppo delle radici sono causa di danni alle strutture stradali, che si traduce in un potenziale rischio per i pedoni e gli automobilisti. (fig. 7)



Figura 7 – Particolare fotografico dell'innalzamento del manto stradale dovuto all'ingrossamento delle radici in Via de Chirico (a sinistra) e nel parcheggio tra Piazza Bernini e Viale degli Artisti.

Il verde presente si può classificare come verde stradale con il solo scopo di arredo di vie, viali, piazze e parcheggi. Nel contesto in esame si rileva una realizzazione del verde senza aver tenuto conto di criteri razionali di progettazione, il che ha derivato a far sì che gli alberi siano stati relegati in scavi effettuati senza considerare la presenza e la funzione dell'apparato radicale e senza tener conto della presenza invadente delle auto che possono creare costipamento del terreno. In un punto particolare dell'area è possibile individuare uno spazio verde di quartiere (Via L. da

Vinci), al momento abbandonato a sé stesso, ma che potrebbe essere utilizzata dagli abitanti della zona con funzione ricreativa, di svago e di incontro. Si riconoscono, inoltre, nell'area sei tipologie arboree con altezze che variano dai pochi metri alle decine di metri. (Tavola III)

Al fine di rendere operativa la sostenibilità urbana sono stati presi in riferimento un sistema di indicatori con lo scopo di valutare il livello di sostenibilità dell'area, al fine di determinare politiche e azioni attuate per migliorare tale livello. Gli indicatori utilizzati nel caso di studio per il verde urbano sono:

- verde urbano fruibile, esclusi parchi e giardini (m^2/ab);
- Indice di permeabilità di verde urbano permeabile rispetto alla superficie urbana dell'area (m^2/m^2);
- Numero di alberi (fig. 10).

Attraverso il preliminare del PUC del comune di Aversa, si è ricavata la densità abitativa fondiaria³ (ab/ha) della zona, compresa tra 200-300 ab/ha . Sono state ricavate inoltre le superfici territoriali dell'area e quelle al solo scopo pubblico, rispettivamente di 82697 m^2 e 29022 m^2 , in modo da ricavare anche il numero di abitanti nell'area che si aggira tra le 1654 e le 2480 unità. Attraverso questi parametri sono stati ricavati gli indici precedentemente descritti. (fig. 8)

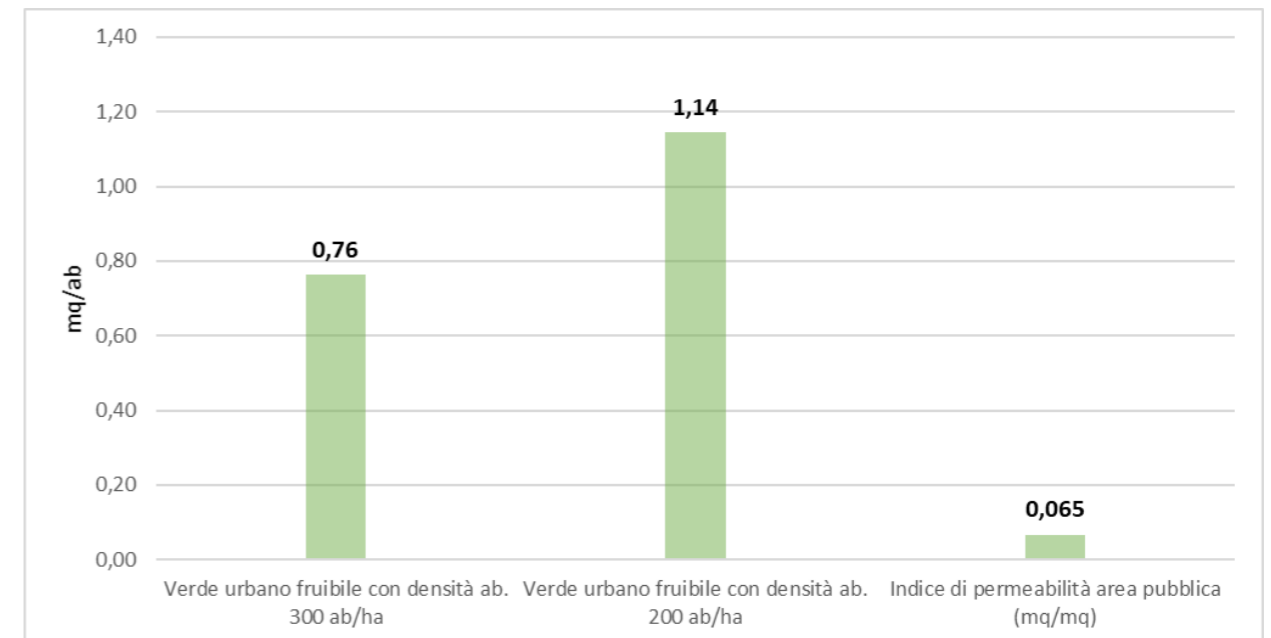


Figura 8 – Istogramma della fruibilità del verde urbano.

³ La densità territoriale esprime il rapporto fra abitanti insediati o insediabili in una data zona e la sua superficie territoriale espressa in mq.

Tavola III - CENSIMENTO DELLA VEGETAZIONE PRESENTE NELL'AREA



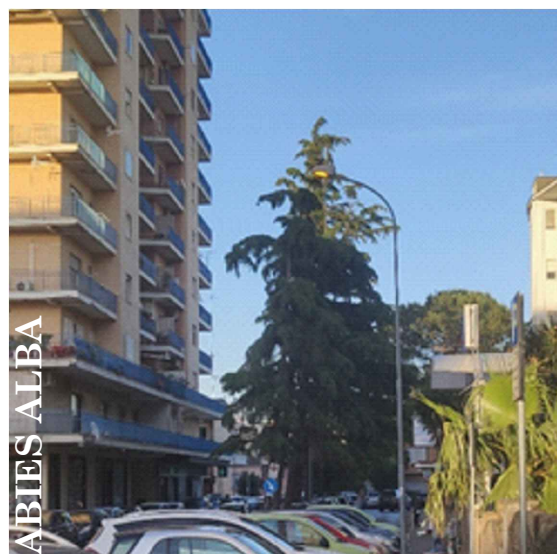
CELTIS AUSTRALIS

È ampiamente utilizzata in città per le alberature, il verde urbano e i parchi cittadini. I pregi sono numerosi: specie molto rustica e frugale, resiste a temperature basse, sopporta bene la potatura e non risente particolarmente dell'inquinamento atmosferico. Possiede un forte apparato radicale che si sviluppa in profondità ed ancora saldamente la pianta al substrato: da qui il nome comune spaccasassi. Il legno, di colore bianco-grigio o tendente al verde, è duro, molto elastico e resistente.



BETULA PENDULA

Sono alberi solo all'apparenza molto delicati: resistono al freddo e si adattano ad estreme condizioni di siccità e povertà del suolo. La betulla è considerata un'essenza pioniera che si insedia su terreni nudi, privi di vegetazione ed è utilizzata come preparatoria nei rimboschimenti. Presenta un apparato radicale molto sviluppato e viene impiegata nel consolidamento di terreni instabili.



ABIES ALBA

L'abete bianco è un albero sempreverde. L'abete bianco ama umidità, terreni freschi e profondi, tipici delle zone ombreggiate e piovose. Può crescere fino a un'altezza di circa 60 metri, presenta un fusto dritto che può arrivare ad un diametro di 3 metri. Tale pianta ha una ramificazione molto regolare: i rami principali sono raggruppati in palchi regolari e disposti orizzontalmente e mai penduli (ramificazione simpodiale). I rami secondari sono disposti lungo il tronco seguendo un andamento a spirale.

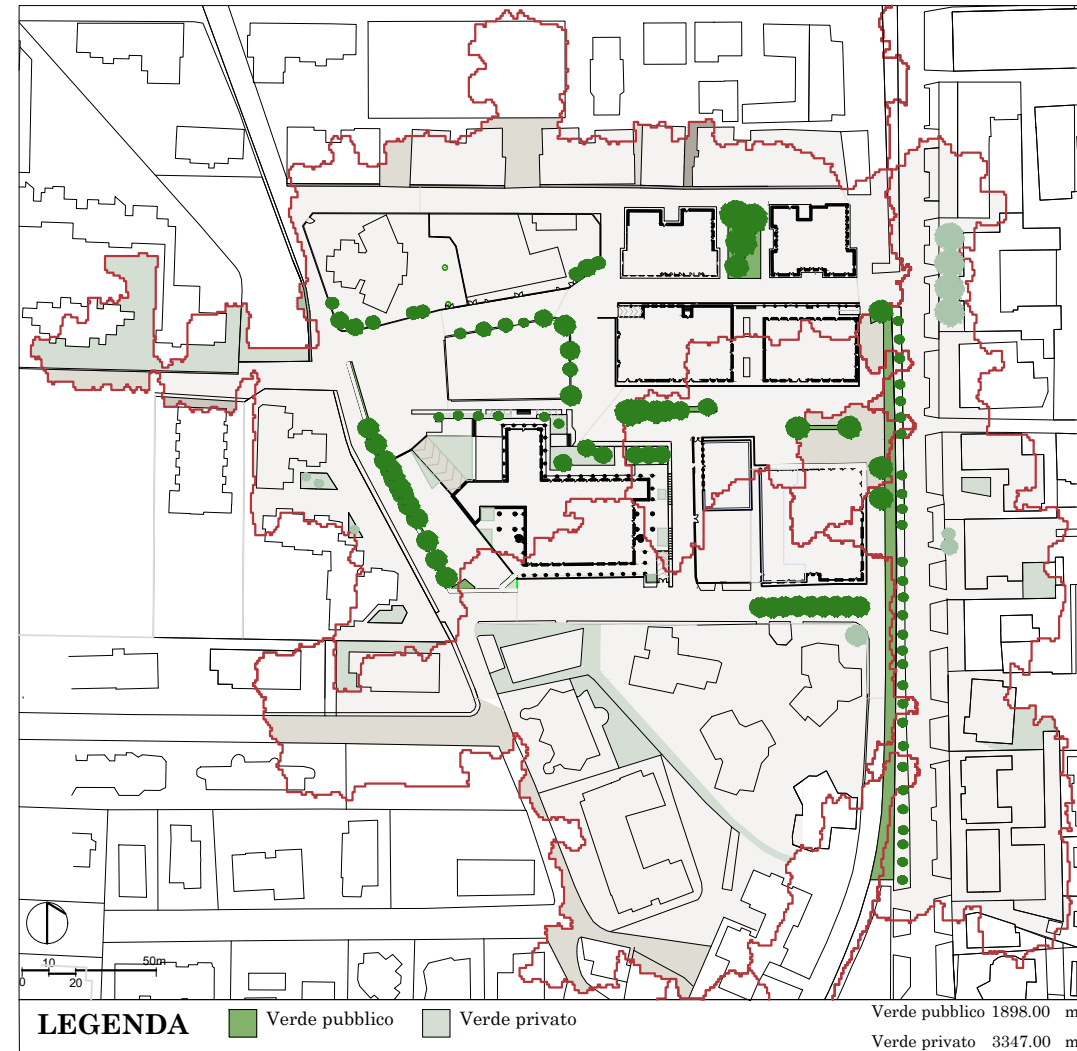


Figura 9 - Planimetria di rilievo del verde urbano

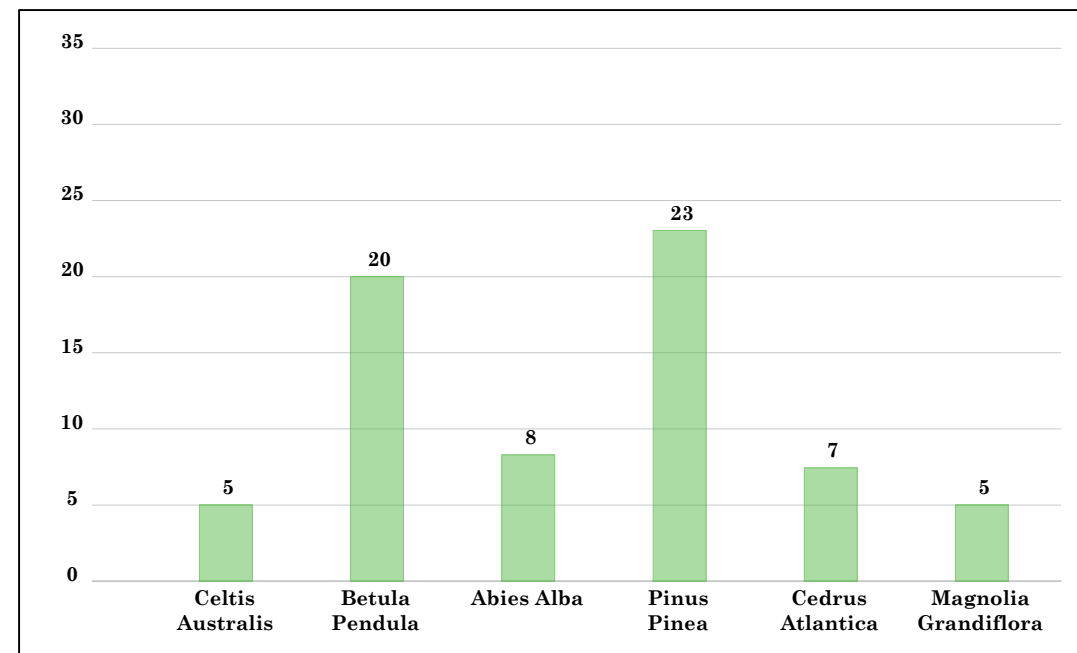


Figura 10 - Tipologie e quantità delle specie arboree presenti nell'area

Il Pinus Pinea L., comunemente chiamato "pino domestico" è un albero maestoso e di aspetto inconfondibile che può raggiungere anche i 30 metri di altezza. In natura è piuttosto longevo, può arrivare a circa 200-250 anni, mentre in ambiente urbano l'aspettativa di vita si dimezza. Il tronco è eretto, con corteccia di colore grigio-marrone che si screpola in grosse placche e diventa rossastra col tempo. Il Pino Pinea ha un'ampia chioma tondeggiante nelle piante giovani fino a 25+30 anni.



PINUS PINEA

Il Pinus Pinea L., comunemente chiamato "pino domestico" è un albero maestoso e di aspetto inconfondibile che può raggiungere anche i 30 metri di altezza. In natura è piuttosto longevo, può arrivare a circa 200-250 anni, mentre in ambiente urbano l'aspettativa di vita si dimezza. Il tronco è eretto, con corteccia di colore grigio-marrone che si screpola in grosse placche e diventa rossastra col tempo. Il Pino Pinea ha un'ampia chioma tondeggiante nelle piante giovani fino a 25+30 anni.



MAGNOLIA GRANDIFLORA

Il Cedrus Atlantica (Cedro dell'Atlante o africano) è originario del Marocco e dell'Algeria. Allo stato spontaneo può raggiungere i 45 metri di altezza, mentre in coltivazione in genere non supera i 30 metri. Portamento conico. Chioma eretta, rada e piramidale, espansa con l'età. Il tronco è dritto, cilindrico, con corteccia grigio-bruna, screpolata e fessurata.



CEDRUS ATLANTICA



Figura 11 - Sviluppo urbano nel 1876. Fonte: IGM



Figura 12 - Sviluppo urbano nel 1905. Fonte: IGM



Figura 13 - Sviluppo urbano nel 1960. Fonte: IGM



Figura 14 - Sviluppo urbano nel 1984. Fonte: IGM



Figura 15 - Sviluppo urbano nel 1988. Fonte: Geoportale



Figura 16 - Sviluppo urbano nel 2016. Fonte: Geoportale



Figura 17 - Foto scattata da Salvatore di Vilio dal "Grattaciolo Bell'Orizzonte" tra il 1978-80



Figura 18 - Immagine del 1973 ritraente il Grattaciolo Bell'Orizzonte. Fonte: www.delcampe.net

1.3 Studio storico dello sviluppo urbano

Le prime informazioni sull'area sono state tratte da una carta del 1895 (fig. 11) dove essa era segnalata come proprietà della *Mass. Vulpicelli*. Successivamente in una planimetria del 1905 (fig. 12) viene attribuito al sito il nome di "Podere Sarnelli" (ipotizzando una derivazione dalla proprietà dei terreni). Esiste, però, un'ulteriore carta risalente 1960 (fig. 13) che indica l'area come "C. Argo" ed infatti, tale denominazione è rimasta nel tempo, ed indica oggi, uno dei parchi presenti. Da come è possibile notare da questa carta, il quartiere non esisteva ancora e non era altro che un terreno confinante con il tragitto ferroviario dell'Alifana. I primi segni di costruito risalgono al 1965 circa, con la progettazione e costruzione di uno degli edifici più alti ed imponenti del comune soprannominato fin dall'inizio il "*Grattaciolo Bell'Orizzonte*", ad opera del Prof. Coppola (fig. 18), dalla cui sommità è possibile apprezzare una visione d'insieme del territorio aversano (fig. 17). Dal 1966 si è sviluppata parte dell'area, con la realizzazione della maggior parte degli edifici presenti (fig. 14). Bisogna attendere il 1985 per ottenere il quartiere come oggi è conosciuto (fig. 15-16), con la costruzione del palazzo dell'INAIL e delle Poste Italiane.

1.4 Studio idraulico

L'area di studio del PRIN 2015 è stata perimetrata attraverso la lettura geomorfologica, insediativa e del reticolo idrologico. Questo ha permesso di poter considerare tutti gli apporti di acque meteoriche. La perimetrazione è stata definita attraverso *software* GIS, individuando prima le aree colanti e successivamente le linee di deflusso. La successiva definizione di micro-bacini drenanti ha consentito di scegliere aree in cui posizionare i dispositivi secondo le quantità necessarie e le superfici libere disponibili. (PRIN 2015)

L'area di studio è suddivisa in 5 micro-bacini, con aree pubbliche rispettivamente:

- Area colante 10 di 3363 mq;
- Area colante 11 di 9204 mq;
- Area colante 12 di 2900 mq;
- Area colante 13 di 700 mq;
- Area colante 14 di 4112 mq.

Attraverso lo studio idraulico effettuato dai docenti Di Nardo A. e Di Natale M., è stato possibile dimensionare i volumi delle *Green Stormwater Infrastructure* attraverso un approccio scientifico basato su semplici ipotesi di base, sull'uso del metodo VAPI per la stima delle portate massime meteoriche con assegnato periodo di ritorno e sul metodo cinematico. Le ipotesi si riferiscono a:

- è stato scelto un coefficiente di afflusso⁴ pari a 0.7, ovvero per *zone urbane destinate a restare con scarse aree scoperte*;
- metodo di stima della legge di pioggia: VAPI;
- calcolo della portata di colmo tramite il metodo cinematico;
- il volume da attribuire a ciascuna GSI è pari ad un accumulo della portata massima per un'ora ipotizzando un pluviogramma triangolare con picco coincidente con la portata al colmo.

Trascurando il procedimento per la stima delle portate meteoriche, già effettuate dai docenti, si è proceduto con il calcolo della massima portata meteorica Q_j . Come già detto in precedenza, è stato adoperato il *metodo cinematico*.

Il metodo tiene conto soltanto del fenomeno del ritardo, inteso come tempo necessario al trasferimento dei volumi d'acqua che cadono nei vari punti dell'area colante fino alla sezione di chiusura del collettore. Esso si basa sulle seguenti ipotesi:

- La formazione della piena è dovuta solo al trasferimento di volumi d'acqua all'interno del bacino;
- Ogni goccia di pioggia che cade sulla superficie segue un percorso invariabile nel tempo e che dipende solo dal punto in cui essa è caduta;
- La velocità con cui si muove la goccia non è influenzata da altre gocce;
- La portata nella sezione di chiusura in un dato istante è data dalla somma delle portate elementari, provenienti dalle diverse parti del bacino, che pervengono alla sezione di chiusura in quell'istante.

⁴ Il coefficiente di afflusso rappresenta il rapporto istantaneo tra la portata che attraversa la sezione di chiusura del bacino e la portata che nello stesso istante perviene al bacino sottoforma di precipitazione.

La portata che transita in un certo istante attraverso la sezione di chiusura del bacino colante è pari al prodotto della intensità di pioggia netta per l'area della porzione di bacino da dove provengono i contributi di portata che, in quell'istante hanno raggiunto la sezione di chiusura:

$$Q_j = \varphi_m t_j S_j, \quad i_j = at_j^{n-1}, \quad [1]$$

con:

- Q_j la portata d'acqua [m³/s];
- φ_m il coefficiente di afflusso;
- S_j l'area della superficie del bacino [m²];
- i_j l'intensità di pioggia [m/s];
- a [m/h] ed n [-] legati all'interpolazione con legge bi-parametrica dei valori della intensità di pioggia;
- t_j durata dell'evento piovoso [h].

Il tempo t_c impiegato da una goccia a raggiungere, dal punto in cui cade, la sezione di chiusura viene detto tempo di corrivazione. Si definisce tempo di corrivazione dell'area colante T_c , il massimo tra i tempi di corrivazione di tutti i punti dell'area colante. Nel caso in oggetto, dagli studi effettuati nel progetto di ricerca, il tempo di corrivazione è stato stimato con la relazione proposta nel 1971 dal *Civil Engineering Department* dell'Università del *Maryland*, caratterizzata dalla seguente espressione:

$$t_{c,j} = \left[26.3 \frac{(L_j/K_{s,j})^{0.6}}{3600^{0.4(1-n)} a^{0.4} i_j^{0.4}} \right]^{\frac{1}{(0.6+0.4n)}}, \quad [2]$$

dove:

- i_j pendenza media della superficie scolante;
- L_j la lunghezza della superficie scolante lungo la linea di pendenza;
- $K_{s,j}$ il coefficiente di Gauckler-Strickler della superficie scolante.

Una volta ricavate le portate al colmo sono stati determinati i volumi d'acqua V_j , potendo dimensionare così i singoli dispositivi, usando la seguente espressione:

$$V_j = Q_j t_j, \quad [3]$$

e per determinare la superficie necessaria S_n a soddisfare il fabbisogno idrico, si usa la seguente relazione:

$$S_n = \frac{V_j}{hc_p}, \quad [4]$$

dove:

- V_j è il volume del fabbisogno idrico del j-simo bacino di riferimento;

- h è la profondità di progetto della j-sima infrastruttura;
- c_p è il coefficiente di porosità del terreno.

Operando in questo modo sono state ricavate per ogni bacino le superfici minime necessarie per soddisfare il fabbisogno idrico di ogni gruppo di bacino, per un tempo di ritorno di 20 anni con evento meteorico della durata di 30 minuti, corrispondente ad un volume di 605 m³.

Si riporta l'esempio del bacino colante 13 (fig. 18) al fine di dimostrare il procedimento utilizzato. Su quest'area sono stati ricavati dapprima tutti gli elementi geometrici necessari per procedere con la soluzione del metodo cinematico, i cui valori sono riportati nella Tabella I.

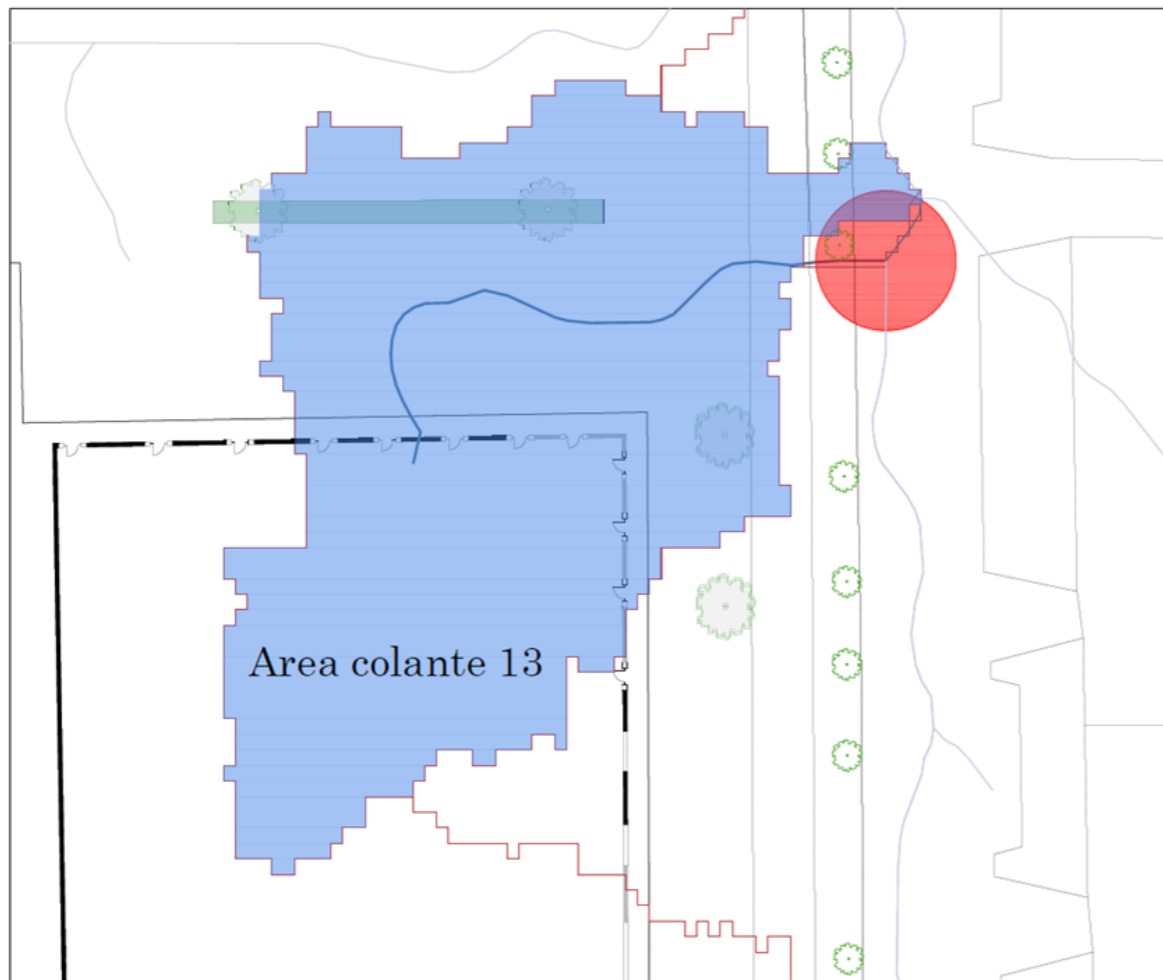


Figura 18 – Rappresentazione dell'area colante 13

Ricavate le informazioni geometriche dell'area è stato calcolato il tempo di corrivazione tramite la [2], pari a circa 195 s, e attraverso la [1] è stata ricavata la portata d'acqua pari a 0.024 m³. Successivamente con la [3] il corrispettivo volume d'acqua è pari a 4.60 m³. Considerando quindi un'altezza standard della GSI pari a 1.50 m e un coefficiente di porosità del terreno pari al 35%, valore medio della stratificazione del terreno misto, attraverso la [4] si è ottenuto una superficie minima di circa 9 m². Come riportato nell'esempio, attraverso le relazioni riportate in precedenza sono stati ricavati i volumi di acqua piovana (fig. 19) e le superfici minime di GSI (fig. 20) a soddisfare il fabbisogno idrico.

Area colante 13	S_j [m ²]	700
	L_j [m]	44.50
	i_m [-]	0.045
	$K_{s,j}$ [m ^{1/3} /s]	40.00
	α_{T20} [mm/h]	49.35
	n [-]	0.57
	ϕ_m [-]	0.70

Tabella I – Caratteristiche geometriche dell'area colante presa in esame

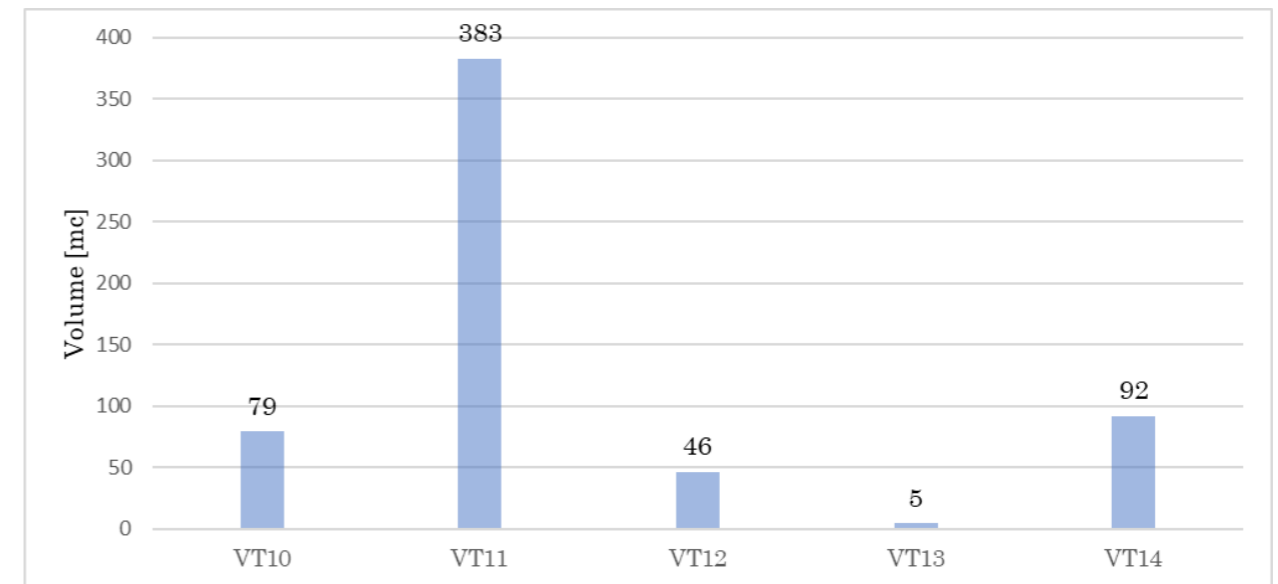


Figura 19 – Volumi di acqua piovana in riferimento di ogni bacino di utenza

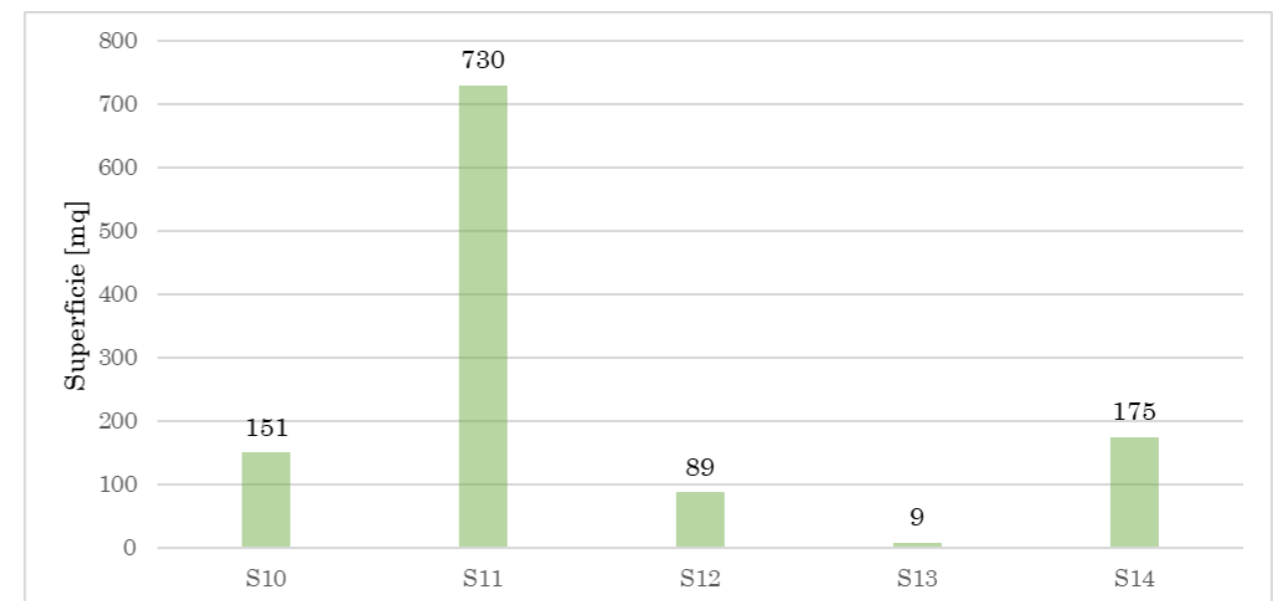
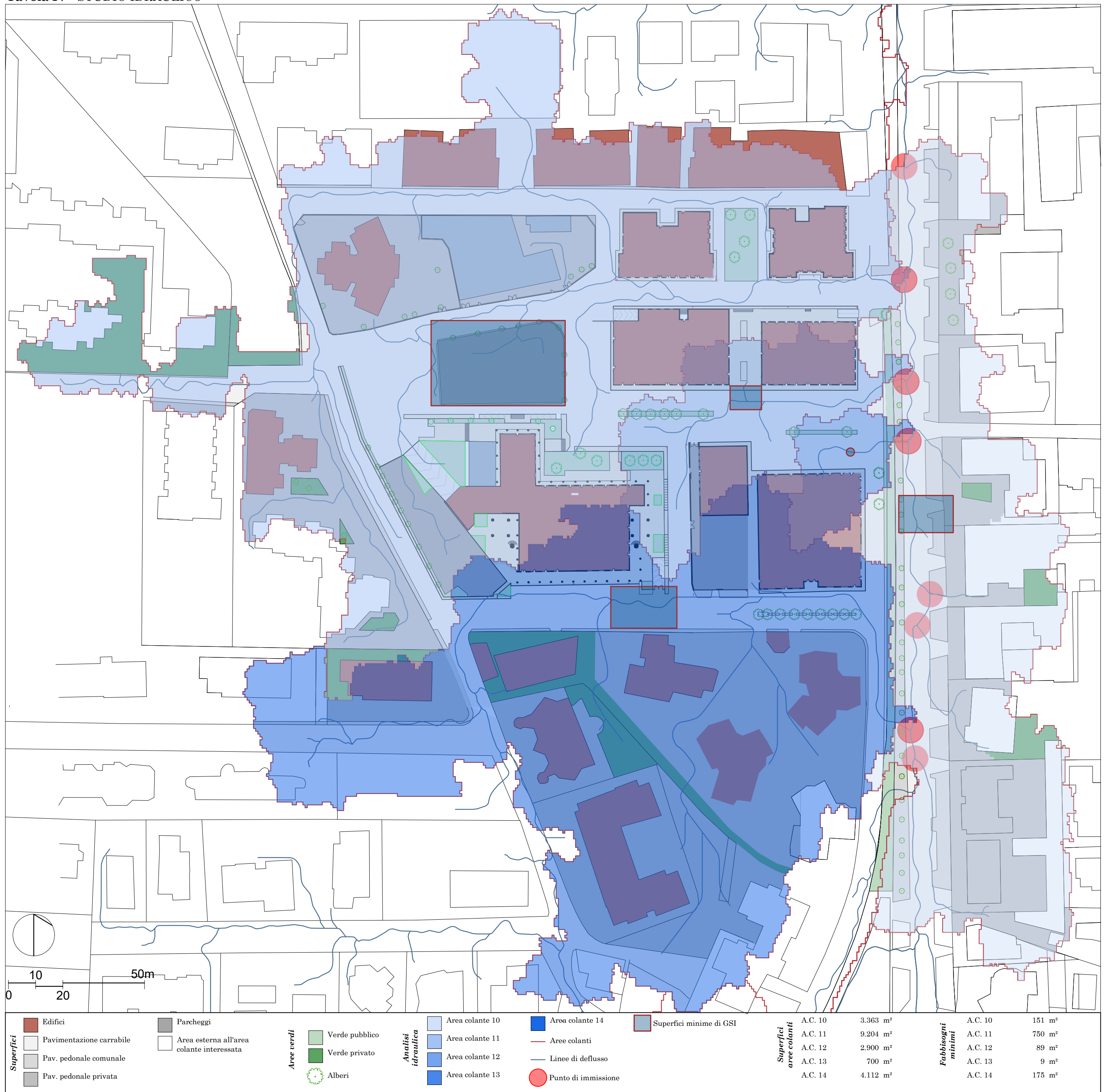


Figura 20 – Superfici minime di GSI in riferimento di ogni bacino di utenza

Tavola IV - STUDIO IDRAULICO



1.7 Gli indicatori R.I.E. e B.A.F.

Una delle cause di degradazione macro e microclimatica del nostro ambiente è causata ed alimentata dall'impermeabilizzazione dei suoli. Le superfici impermeabilizzate provocano un riscaldamento della massa d'aria sovrastante e i moti convettivi portano al ricircolo delle polveri. Il veloce deflusso delle precipitazioni nei corsi d'acqua, essendo stata eliminata o fortemente ridotta la naturale infiltrazione, porta disordine nella regimazione delle acque meteoriche sottratte al naturale ciclo di captazione e restituzione all'ambiente mediante l'infiltrazione, l'evaporazione e l'evapotraspirazione. In questo contesto, il comune di Bolzano e quello della città di Berlino, come già accennato nel **Cap. I**, hanno definito rispettivamente gli indicatori R.I.E. (Riduzione di Impatto Edilizio) e B.A.F. (*Biotope Area Factor*), con i quali si impostano obiettivi di qualità ambientale, come la salvaguardia e il miglioramento del microclima e della qualità dell'aria, la salvaguardia dei suoli per l'equilibrio idrico, il miglioramento della qualità ambientale nelle aree urbane.

Da questi presupposti, per studiare i due indicatori nell'area oggetto di studio, è stata effettuata, tramite indagine aerofotogrammetrica e in campo, la misura delle superfici utili per ricavare il R.I.E. e il B.A.F. (Tav. III). Attraverso la planimetria dei materiali è stato immediato definire le quantità di superfici che compongono l'area di studio, definite in base all'indicatore considerato (fig. 21-22).

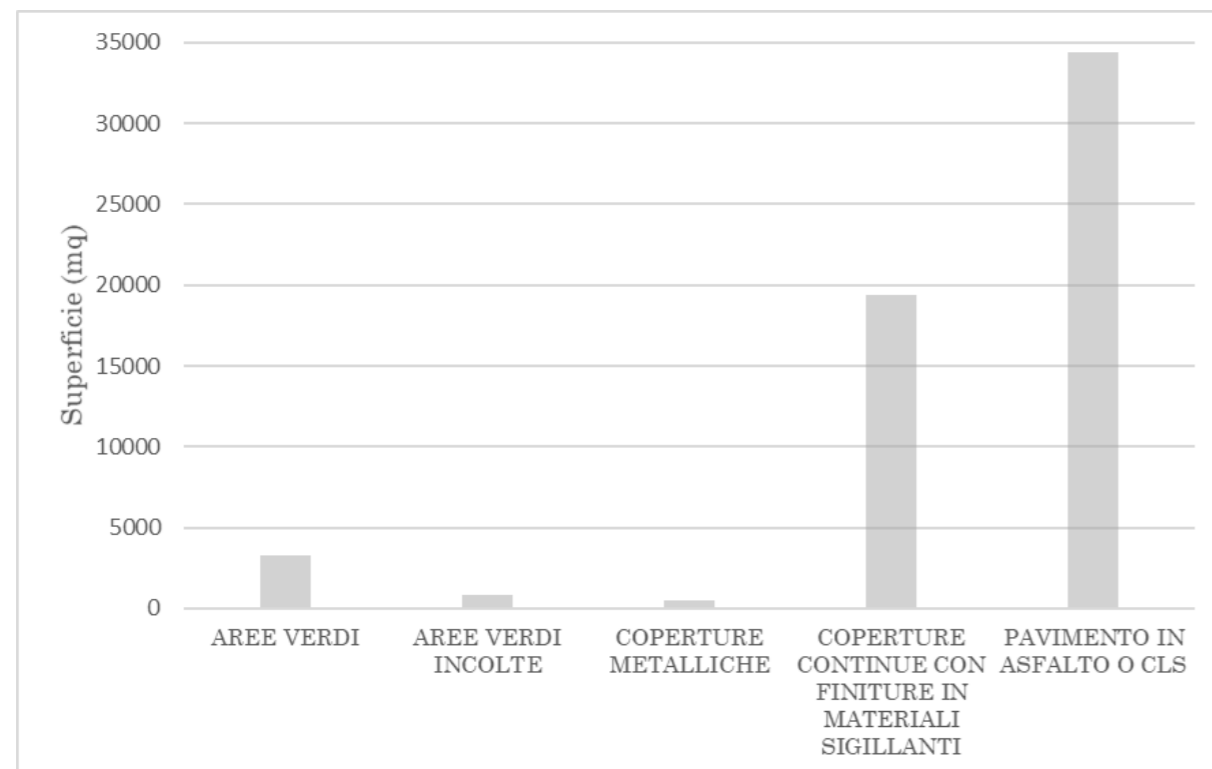


Figura 21 – Superfici ricavate per l'indicatore R.I.E.

Attraverso l'algoritmo del R.I.E.:

$$RIE = \frac{\sum_{i=1}^n S_{vi} \frac{1}{\psi_i} + (S_e)}{\sum_{i=1}^n S_{vi} + \sum_{j=1}^m S_{ij} \psi_j}$$

dove:

- S_{vi} = i-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata trattata a verde;
- S_{ij} = j-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata non trattata a verde;
- ψ_i = coefficiente di deflusso di superficie trattata a verde;
- ψ_j = coefficiente di deflusso di superficie non trattata a verde;
- S_e = Superfici equivalenti alberature;

è stato ricavato il rispettivo indicatore pari a 0.78, inferiore rispetto al valore minimo per le zone a destinazione residenziale, pari a 4.00.

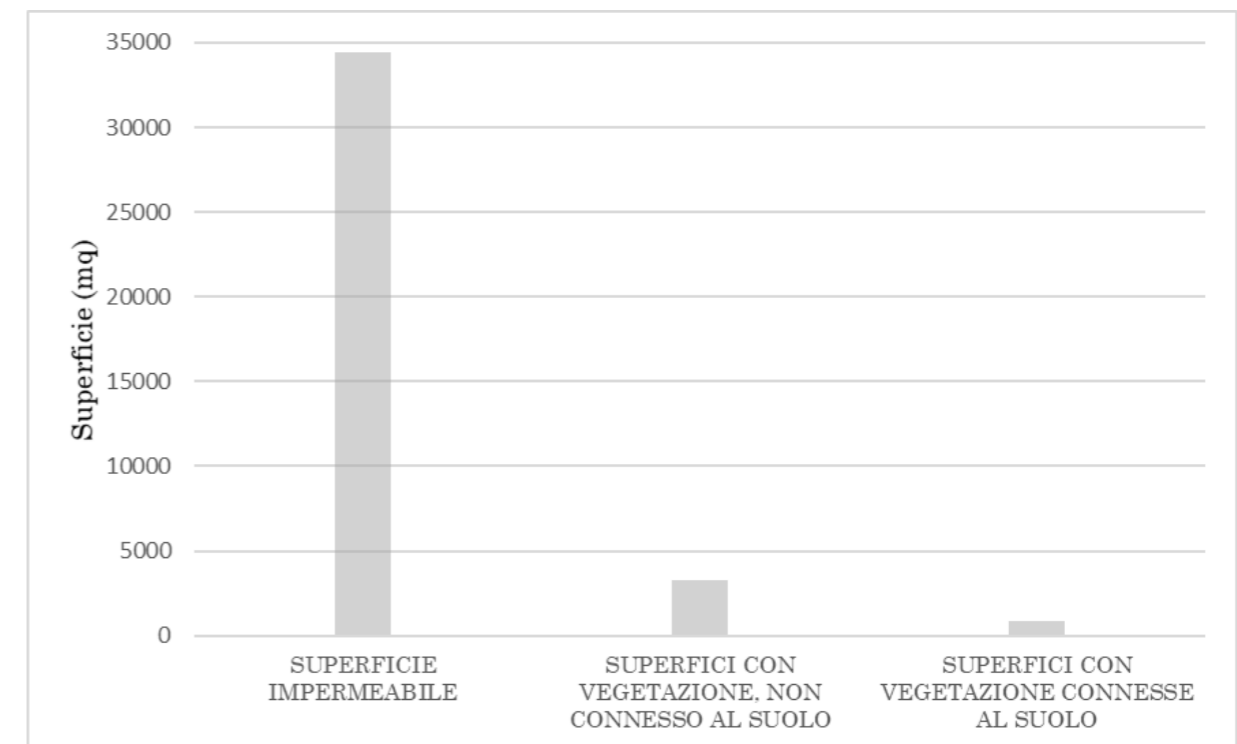


Figura 22 – Superfici ricavate per l'indicatore B.A.F.

Attraverso l'algoritmo del B.A.F.:

$$BAF = \frac{\sum(S_i \times p_i)}{TLA}$$

si è ricavato il valore pari a 0.081, anch'esso al di sotto del valore minimo pari a 0.45 per unità residenziali. Visti i valori ottenuti, occorrerà quindi intervenire, con strategie progettuali che garantiscano il miglioramento qualitativo dell'area, aumentando le superfici permeabili e con la conseguente diminuzione delle superfici impermeabili, ad esempio incrementando le aree verdi e utilizzando pavimentazioni permeabili. Ogni piccolo intervento è di fondamentale importanza per migliorare la qualità di vita delle persone.

Tavola V - STUDIO DEI MATERIALI PRESENTI NELL'AREA



1.6 Studio dell'ombreggiamento

Lo studio dell'ombreggiamento nell'architettura è detto "Soleggiamento" ed è eseguito considerando il moto apparente del Sole in una determinata località, solitamente negli equinozi e nei solstizi. Questo permette di posizionare e dimensionare correttamente gli elementi che fanno da schermo alla luce solare, come pensiline, alberi, ecc., ed inoltre consente di valutare gli effetti delle ombre reciproche tra gli edifici in progetto e quelli esistenti. Nel caso in analisi, lo studio delle ombre ha lo scopo di individuare le zone critiche dell'area. Per fare ciò è stato utilizzato il programma di modellazione 3D *Blender*, contenente la georeferenziazione sviluppando le ombre nei mesi di Giugno e Dicembre nei rispettivi orari 9:00, 12:00, 15:00. Nella fig. 23-24 sono riportate le ombre ottenute ed è possibile notare che nel mese di Giugno (fig. 23) la presenza del sole è sovrabbondante, causando possibili punti di calore. Il vantaggio delle ombre fornite nei mesi caldi, è quello di ridurre le temperature e creare zone di frescura come quella presente in Via Vanvitelli. Per quanto riguarda il mese di Dicembre (fig. 24), è evidente che le ombre ricoprono per la maggior parte della giornata il quartiere. La presenza delle ombre nei mesi freddi è causa di zone fredde e possibile gelo, e in zone chiuse di possibili raffiche di vento. Nella fig. 25 si è ottenuta la mappa di protezione solare, dalla sovrapposizione delle ombre nei solstizi ed equinozi. Questa analisi è utile per scoprire su quali zone intervenire, infatti nelle zone di calura, come quelle dei mesi di Giugno, è possibile pensare ad un intervento di piantumazione di alberi con chiome larghe, che riescano a creare zone di ombra, nelle quali le persone possono trovare un po' di frescura dalle torride temperature estive. Ma se da un lato, è fondamentale creare delle zone d'ombra per proteggere i cittadini dalla calura estiva, dall'altro lato, queste stesse zone, possono risultare problematiche nei mesi invernali, in quanto le temperature risulterebbero ancora più basse del dovuto. Pertanto, sarebbe utile, considerare l'ipotesi di inserire tipologie arboree come alberi esfolianti, in modo da ridurre il carico d'ombra nei mesi freddi.

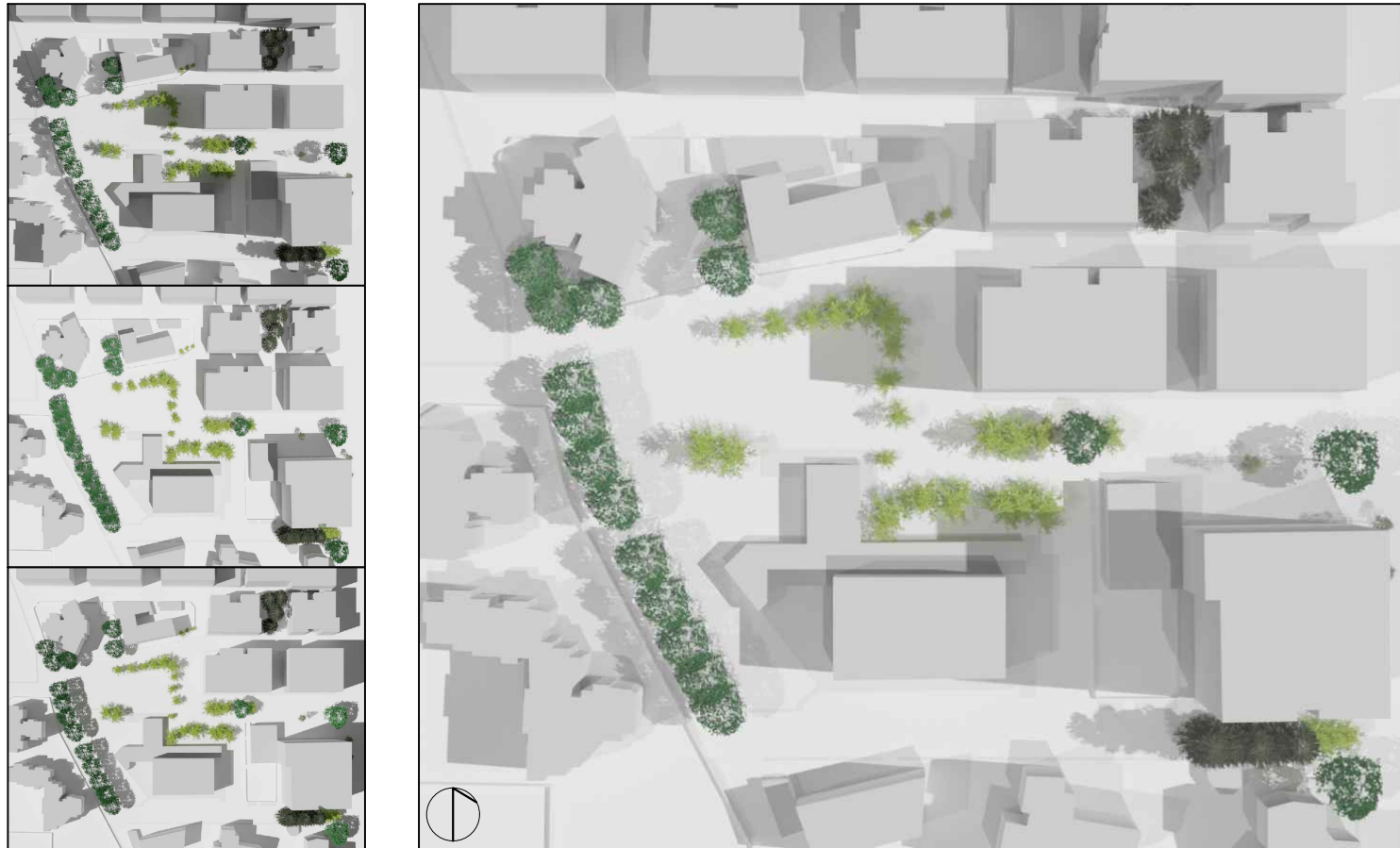


Figura 23 - Ombre del mese di Giugno rispettivamente dall'alto verso il basso delle 9:00, 12:00 ,15:00 e sovrapposizione ombre

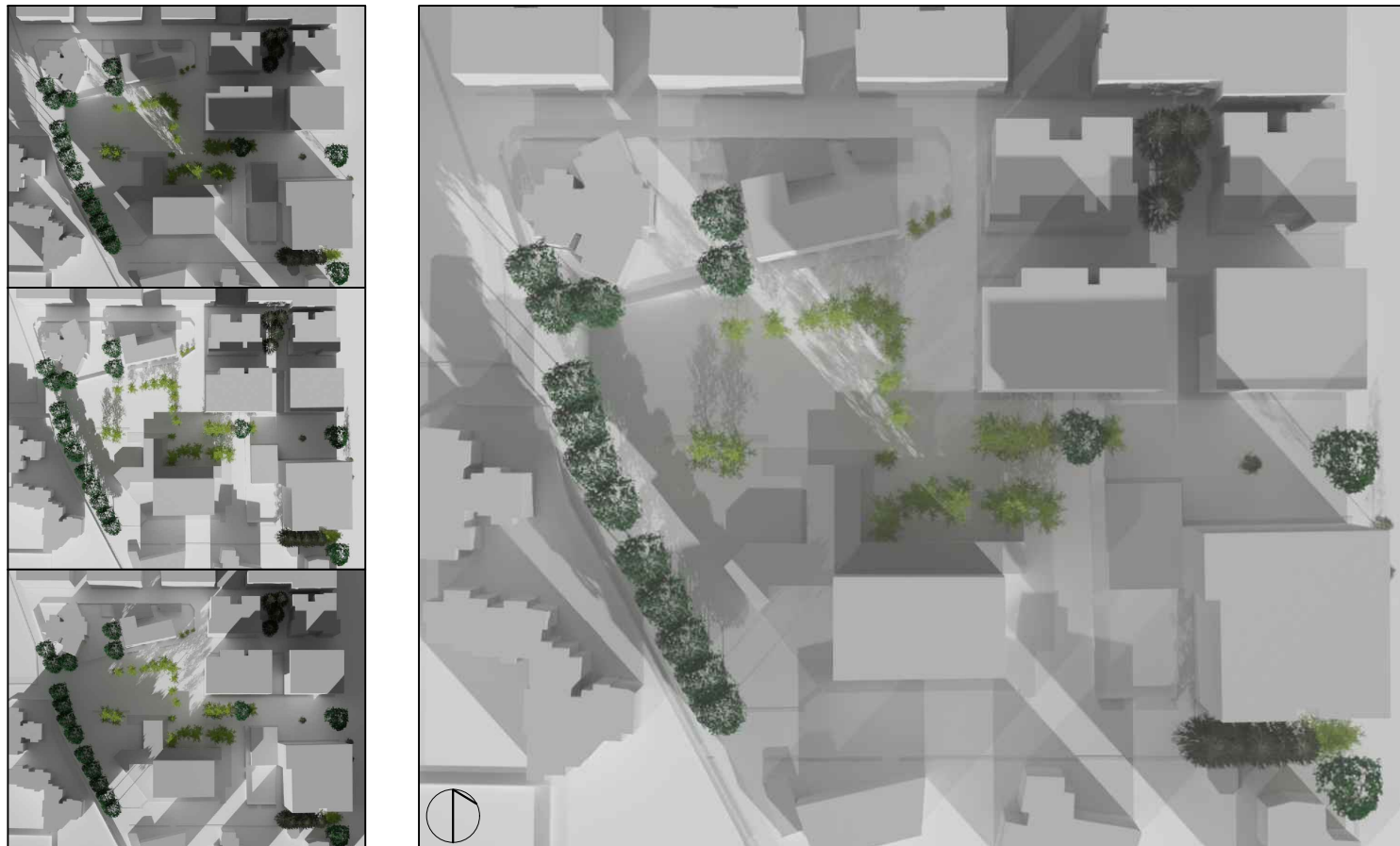
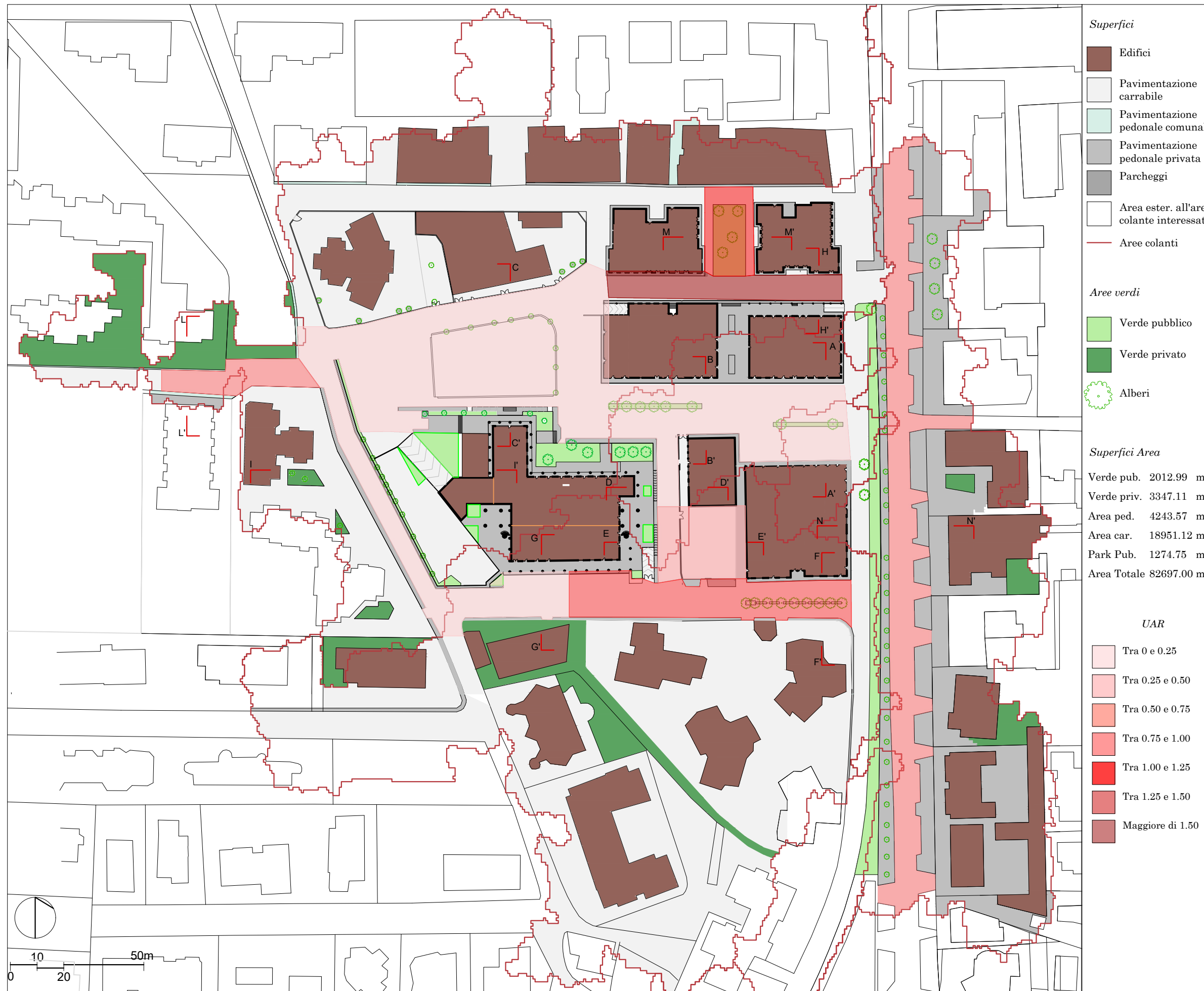


Figura 24 - Ombre del mese di Dicembre rispettivamente dall'alto verso il basso delle 9:00, 12:00 ,15:00 e sovrapposizione ombre



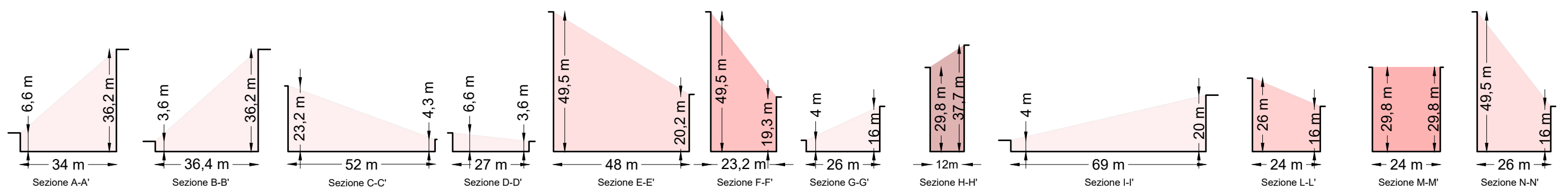
Figura 25 - Mappa di protezione solare



1.7 Urban Aspect Ratio

Sono state individuate le sezioni stradali comprese tra due edifici per le quali sono stati ricavati i valori di UAR, riportati in una scala di valori [0; 2.5], che definisce la gravità della situazione analizzata. Come si può ben vedere dalla Tabella, 6 sezioni su 11 presentano valori positivi, e solo in 3 casi si sono riscontrati valori preoccupanti, come quello della sezione H-H', nel quale la larghezza della strada non è sufficiente per garantire un rapporto che si avvicini al disotto dell'unità. In questi luoghi caratterizzati da fattori elevati, potranno presentarsi uno dei problemi citati nel **Cap. I**, come ad esempio: raffiche di vento, zone di aria ferma e surriscaldata, alte percentuali di inquinamento, ecc. Questa analisi, è utile per capire come sia possibile intervenire per ridurre questi deficit presenti in queste aree.

SEZIONE	H [m]	W [m]	H/W
A - A'	6,6	34	0,19
B - B'	3,6	36,4	0,10
C - C'	4,3	52	0,08
D - D'	3,6	27	0,13
E - E'	20,25	48	0,42
F - F'	19,23	23,22	0,83
G - G'	4	26	0,15
H - H'	29,8	12	2,48
I - I'	4	69	0,06
L - L'	16	24	0,67
M - M'	29,85	24	1,24
N - N'	16	26	0,62



1.8 ENVI-Met

Con l'ausilio del software fluidodinamico ENVI-Met si è analizzata l'area "Aversa Sud" nei periodi dell'estate e dell'inverno, rispettivamente nei giorni del 31 luglio e del 26 febbraio, negli orari 9:00, 12:00, 15:00.

Con l'esempio del **Cap. II**, si sono studiate le condizioni dei parametri globali dell'area, estrapolando i risultati dal software LEONARDO e costruendo le curve tramite Excel. In particolare, si dimostra:

- *Temperatura Potenziale*: nel periodo estivo la temperatura potenziale varia dai 24 ai 33 °C nelle ore 9:00 con media 29 °C, dai 26 ai 34 °C nelle ore 12:00 con media 31 °C, dai 26 ai 33 °C alle ore 15:00 con media 30 °C. Nel periodo invernale la temperatura potenziale varia dai 7 ai 8,5 °C alle 9:00 con media 7,50 °C, dai 7 ai 11 °C alle 12:00 con media di circa 8 °C, dai 6 ai 8,5 °C alle 15:00 con media 7,50 °C;
- *PMV*: nel periodo estivo il PMV varia da 1 a 6 nelle ore 9:00 con media pari a 5, da 1 a 7 nelle ore 12:00 con media pari a 5, da 1 a 7 nelle ore 15:00 con media 5,5. Nel periodo invernale il PMV varia dai -6 a -2 alle 9:00 con media -4, dai -6 ai -1 alle 12:00 con media -4, dai -6 ai -2,5 alle 15:00 con media -4;
- *Umidità Relativa*: nel periodo estivo l'umidità relativa varia dal 25 al 56% nelle ore 9:00 con media pari al 29%, dal 23 al 45% nelle ore 12:00 con media pari al 25%, dal 19 al 35% nelle ore 15:00 con media 23%. Nel periodo invernale varia dal 57 all'83% nelle ore 9:00 con media pari al 65%, dal 63 all'83% nelle ore 12:00 con media pari al 72%, dal 62 all'83% nelle ore 15:00 con media al 67%;
- *Temperatura Media Radiante*: nel periodo estivo la temperatura media radiante varia dai 25 ai 90 °C nelle ore 9:00 con media 78 °C, dai 25 ai 92 °C nelle ore 12:00 con media 80 °C, dai 25 ai 98 °C alle ore 15:00 con media 85 °C. Nel periodo invernale varia dai 10 agli 85 °C alle 9:00 con media 40 °C, dai 5 ai 90 °C alle 12:00 con media pari a 45°C, dai 0 ai 75 °C alle 15:00 con media 35°C;
- *Temperatura Superficiale*: nel periodo estivo la temperatura superficiale dai 15 ai 55 °C nelle ore 9:00 con media 40 °C, dai 20 ai 65 °C nelle ore 12:00 con media 50 °C, dai 20 ai 55 °C alle ore 15:00 con media 45 °C. Nel periodo invernale varia dai 5 ai 25 °C alle 9:00 con media 10 °C, dai 5 ai 30 °C alle 12:00 con media 15°C, dai 5 ai 25 °C alle 15:00 con media 12°C.

I risultati ottenuti sono poco rassicuranti, soprattutto per ciò che riguarda il PMV e la Temperatura media radiante. Il PMV assume valori non ammissibili per entrambe i periodi e ciò consente di dedurre il non comfort dell'utente, il quale percepisce un estremo caldo in estate e un estremo freddo in inverno. La temperatura media radiante, parametro fondamentale per definire l'isola di calore urbano, presenta valori elevati, raggiungendo gli 85 °C di media in estate.

Questa prima analisi configura uno scenario preoccupante da dover migliorare in termini di vivibilità, intervenendo sull'area di studio nei punti di maggior criticità.

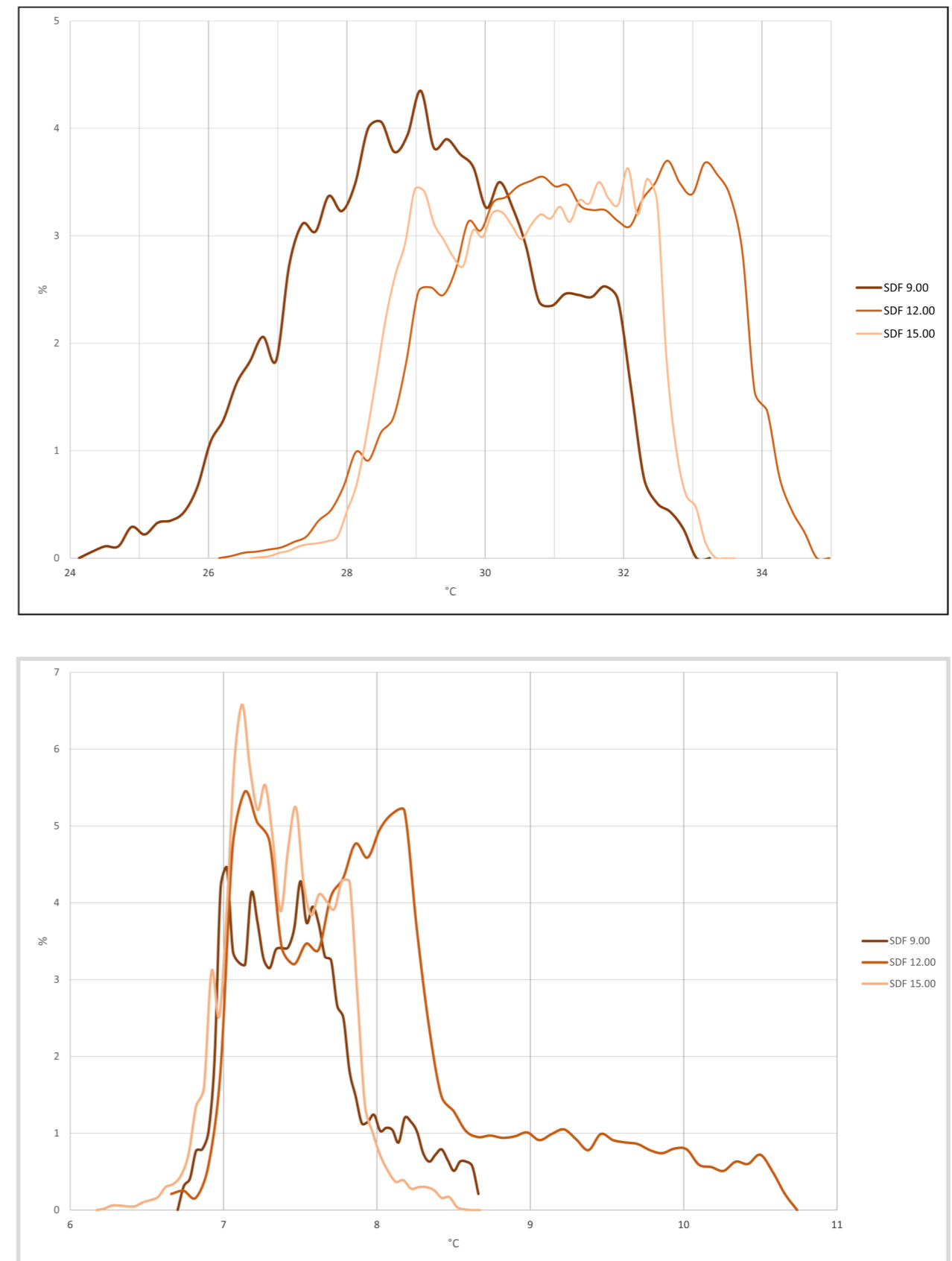


Figura 26 – Diagrammi della Temperatura Potenziale per il periodo estivo (in alto) e il periodo invernale (in basso)

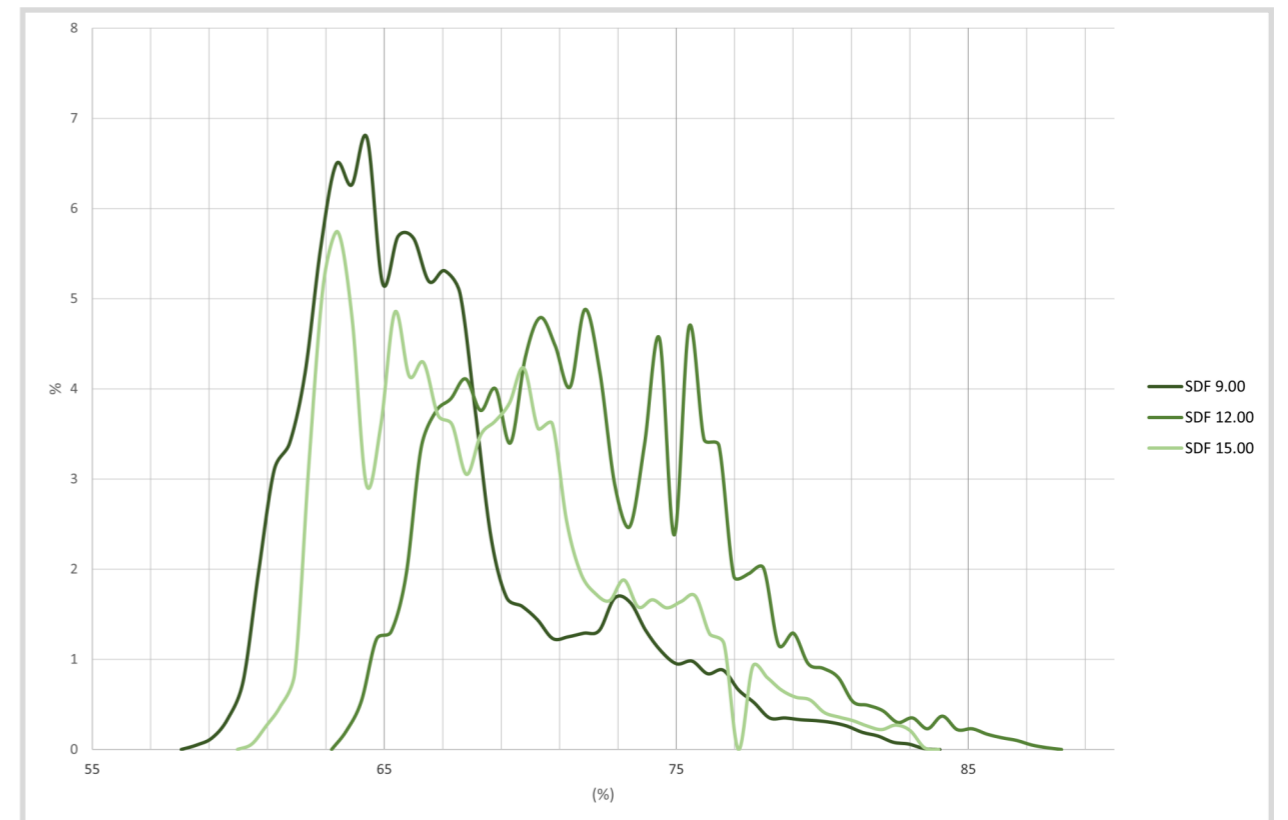
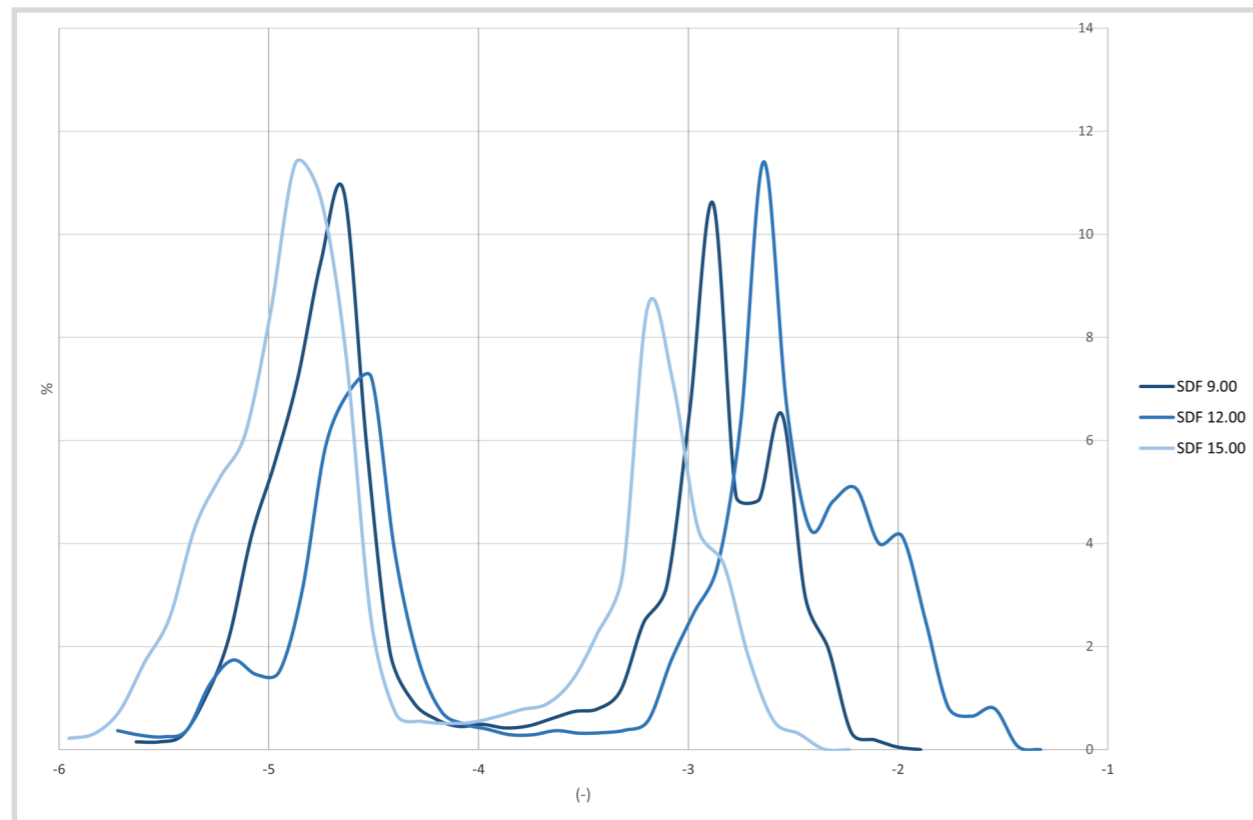
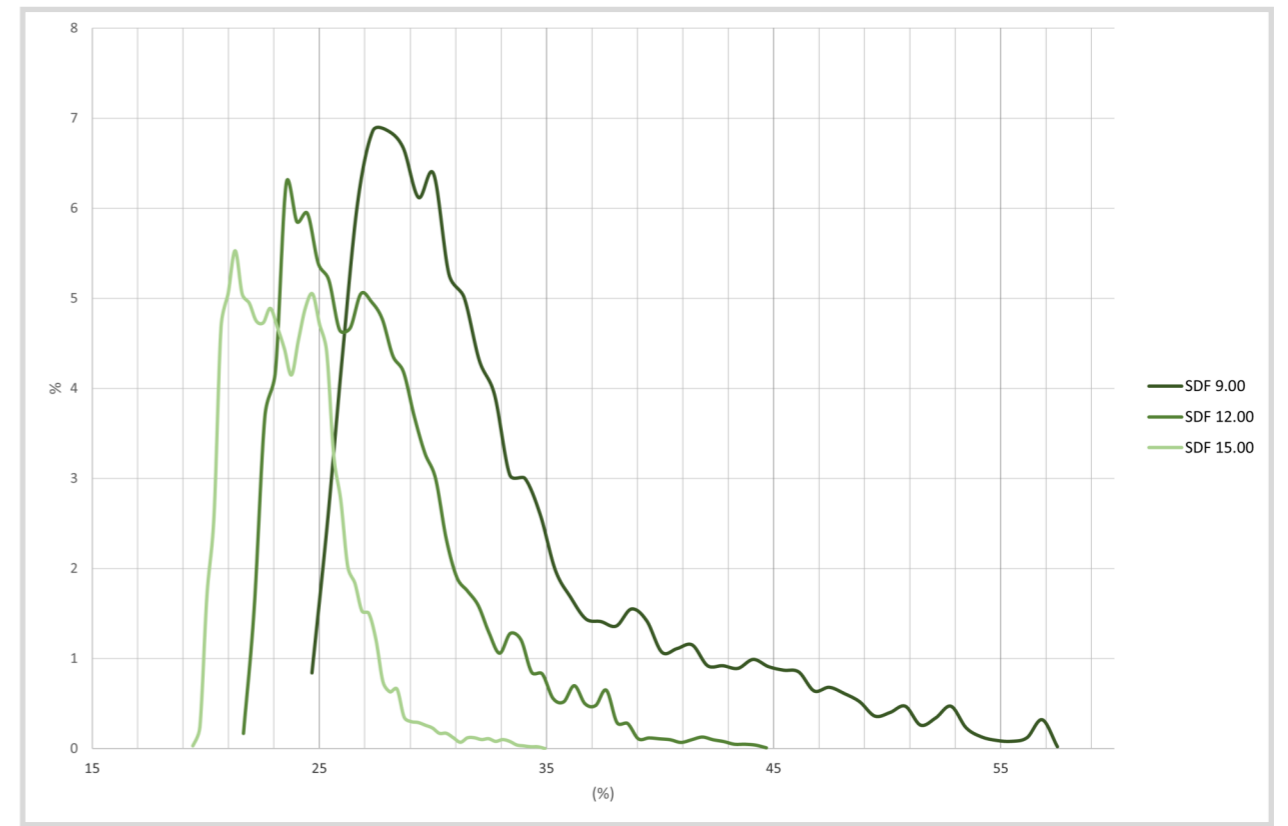
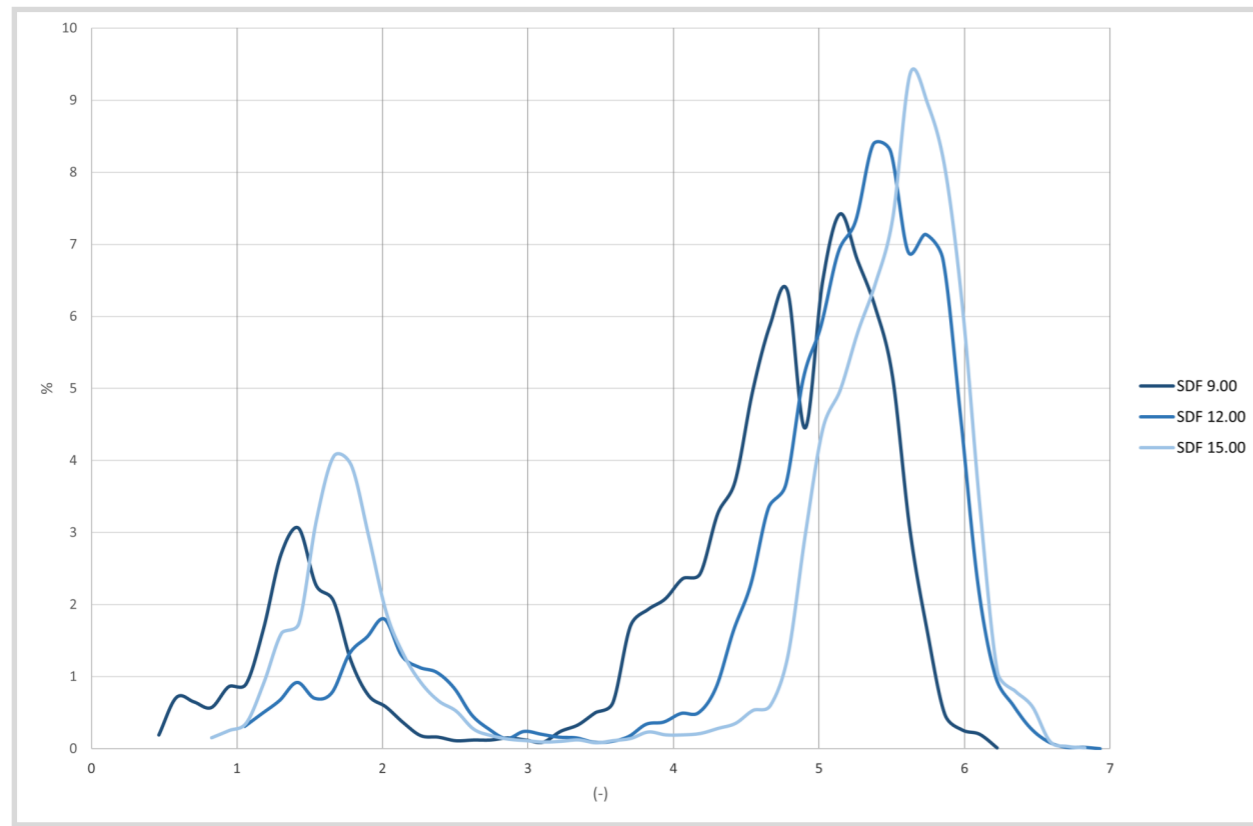


Figura 27 – Diagrammi del PMV per il periodo estivo (in alto) e il periodo invernale (in basso)

Figura 28 – Diagrammi dell'Umidità Relativa per il periodo estivo (in alto) e il periodo invernale (in basso)

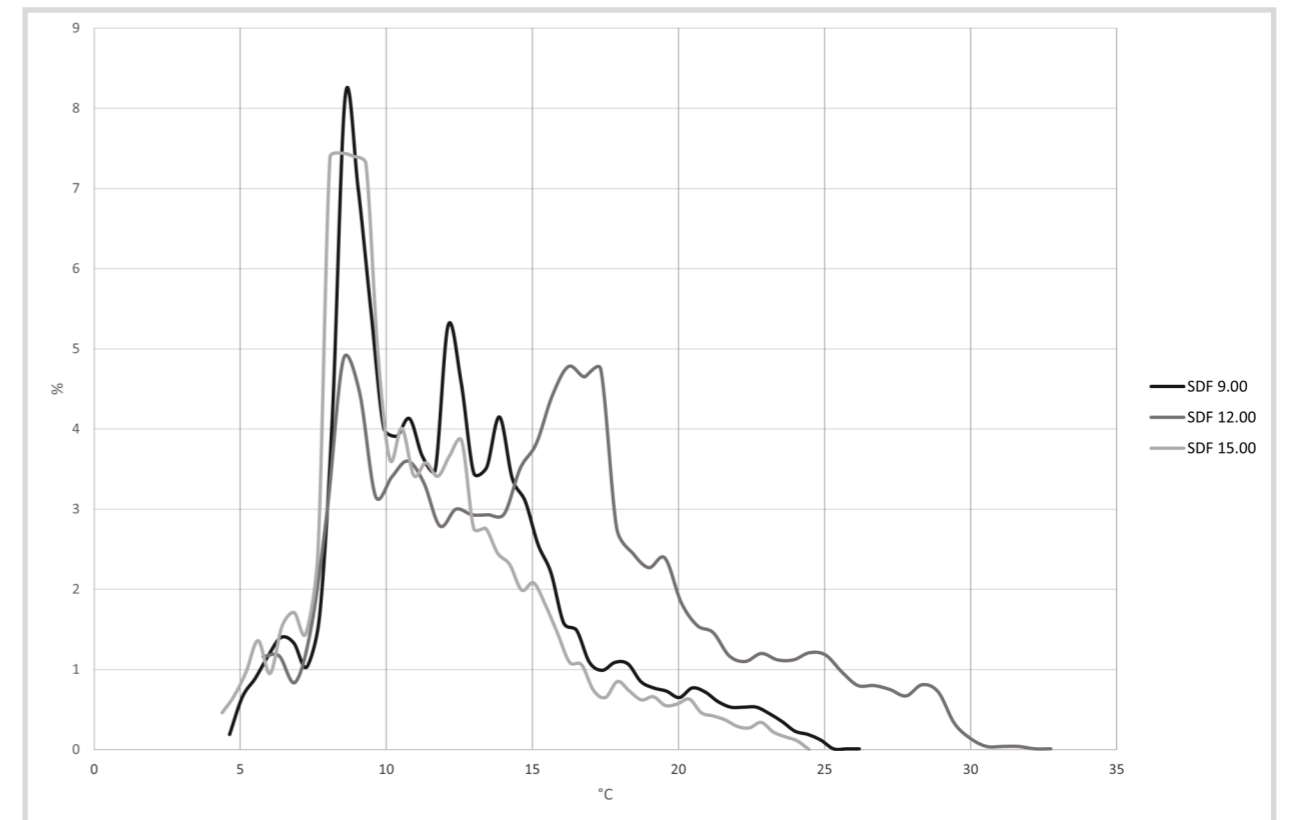
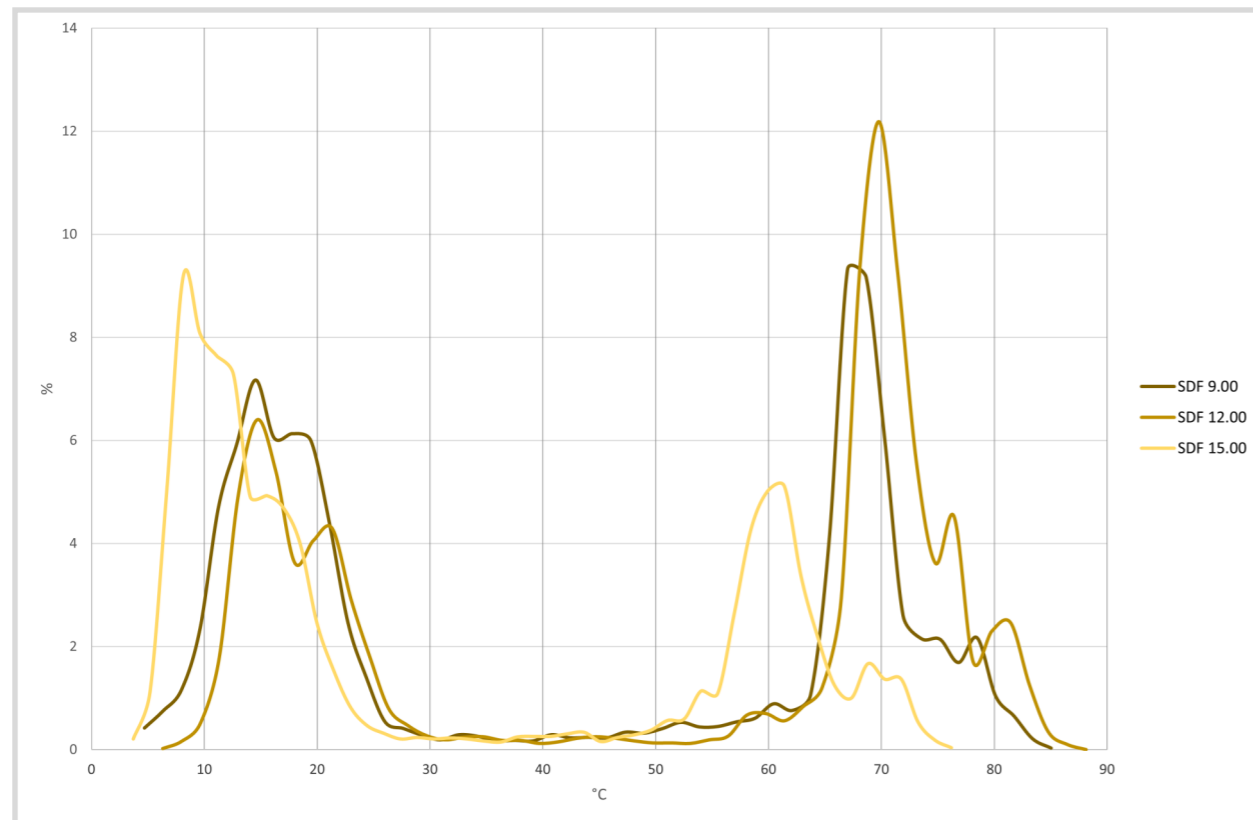
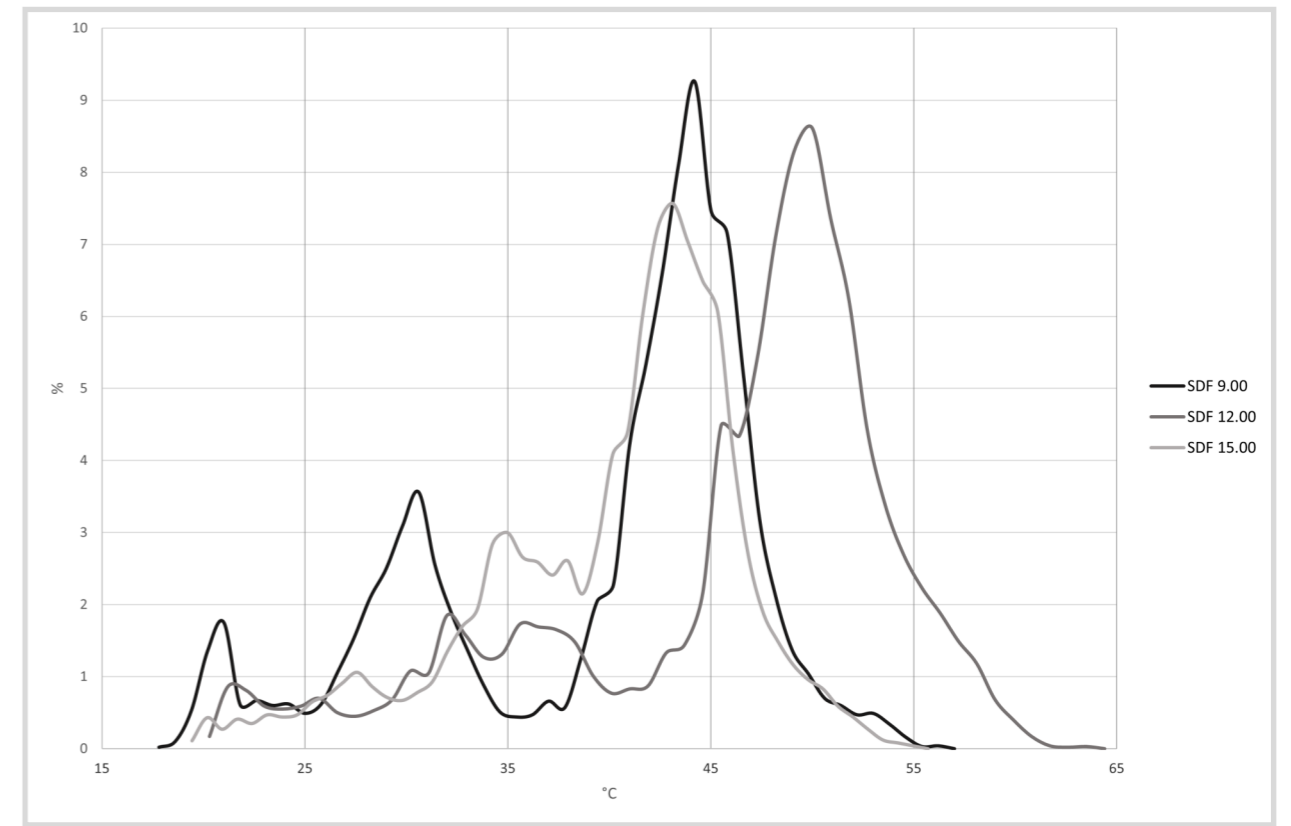
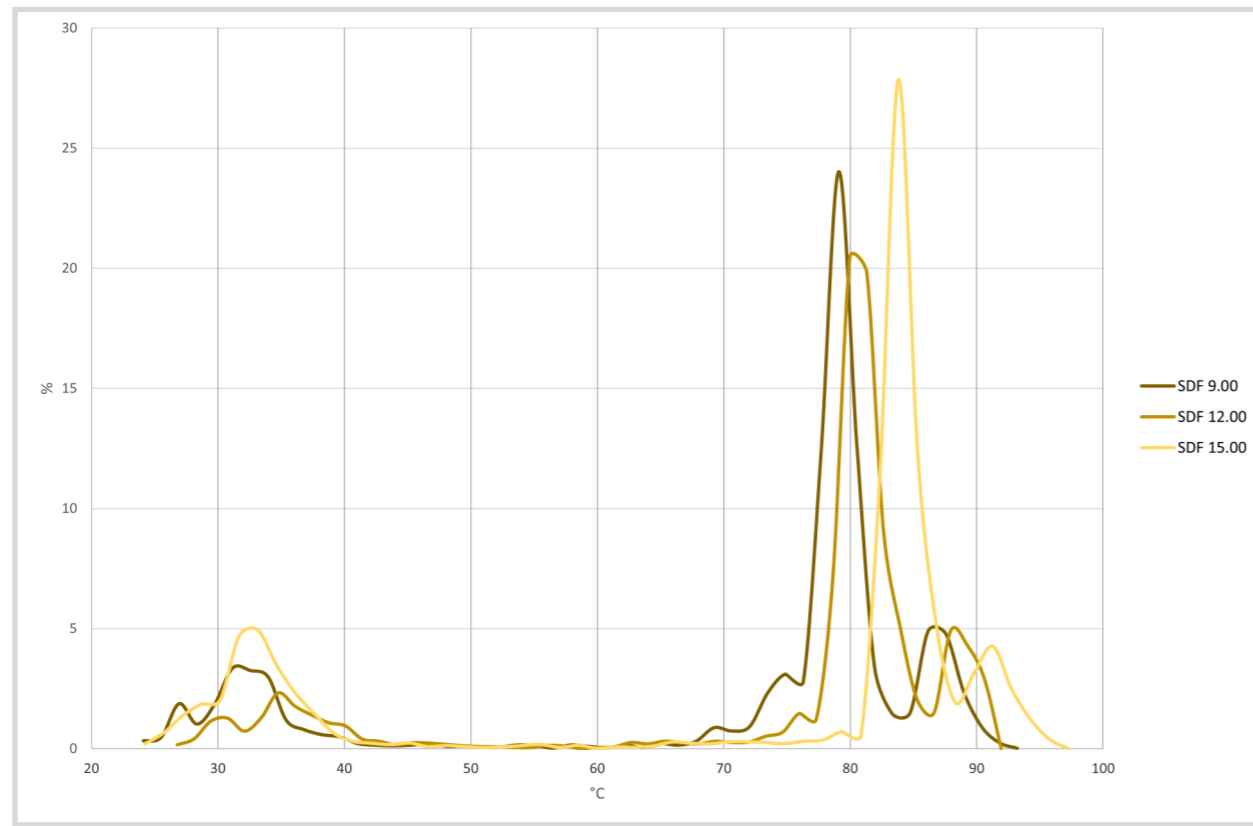


Figura 27 – Diagrammi del PMV per il periodo estivo (in alto) e il periodo invernale (in basso)

Figura 27 – Diagrammi del PMV per il periodo estivo (in alto) e il periodo invernale (in basso)

Dai grafici ottenuti tramite LEONARDO è possibile fare delle considerazioni più dettagliate, potendo definire così le aree di maggior interesse microclimatico su cui intervenire.

Nella fig. 31 sono riportate le estrapolazioni dei risultati del PMV sia per il periodo estivo che per quello invernale. In estate è possibile notare un incremento dei valori nel corso della mattinata, attenuando i suoi valori nelle zone alberate e in quelle ombreggiate. Infatti, per il periodo estivo gli alberi e le ombre sono punti in cui gli utenti percepiscono maggior comfort in quanto le temperature vengono ridotte. Stesso fenomeno, ma in maniera inversa, si presenta in inverno, in quanto la vegetazione e le ombre sono in questo caso motivo di disagio, poiché esse riducono la temperatura e quindi la percezione di freddo.

Nella fig. 32 è riportato il confronto con la temperatura potenziale, in cui è evidente in maniera eclatante l'effetto Canyon che si verifica nelle aree più scure, aree in cui anche il PMV è elevato. Anche in questo caso le ombre e la vegetazione hanno un effetto benefico per l'ambiente; infatti, la loro presenza è visibile dalla gradazione di colore verde nella fig. 32. In inverno la temperatura potenziale presenta valori alquanto uniformi, con valori di temperatura decrescenti nelle aree più chiare. Queste corrispondono alle aree Canyon definite in precedenza.

Un ulteriore valore molto significativo è quello rappresentato dal vento (fig. 33). L'area di studio presenta flussi di vento significativi in molte zone dell'area. In estate, nelle strade orientate verso Est sono fortemente interessate da correnti molto importanti, determinate dai rapporti tra le larghezze delle strade e le altezze degli edifici (*Urban Aspect Ratio*). Si verificano inoltre, in alcune aree, che il vento è fermo, determinando dei problemi di ventilazione. In inverno il fenomeno è simile a quello descritto in estate, con valori che raggiungono anche i 9 m/s, creando così fenomeni di disagio. Infatti, se il vento in estate è anche piacevole, in quanto riduce la sensazione di calura, in inverno il vento incrementa la sensazione di freddo.

L'umidità relativa (fig. 34) viene messa in relazione con la temperatura in quanto hanno una forte analogia. Infatti, è possibile definirla inversamente proporzionale, in quanto quando la temperatura si alza, l'umidità decresce. È quello che si verifica nelle aree già discusse nella temperatura potenziale. L'umidità presente nell'area accresce la sensazione di malessere, in quanto in estate ed in inverno si registrano rispettivamente valori inferiori e superiori alle condizioni microclimatiche ottimali (vedi p. 47, tab. II). Inoltre, la presenza di vegetazione, che per l'estate, come già detto più volte, è un effetto benefico, in inverno causa disagi, in quanto accresce la presenza di umidità e quindi di vapore acqueo, comportando una sensazione di freddo umido.

Infine, la quantità di CO₂ (fig. 35) presenta in estate valori che diventano sempre più importanti con lo scorrere della giornata, nei punti interessati già discussi per la temperatura potenziale che per l'umidità relativa. I valori a cui si aggira sono circa in media di 358 ppm. In inverno invece la quantità di detto parametro si mantiene uniforme.

Dai risultati ottenuti è possibile determinare alcune aree di interesse microclimatico, quali:

- Viale degli Artisti;
- Piazza Bernini;
- Parcheggio tra Piazza Bernini e Viale degli Artisti;
- Via de Chirico;

in queste aree sono presenti tutte le criticità presentate, e per le quali il progetto dovrà ridurre, affinché aumenti il benessere degli utenti che frequentano l'area di studio.

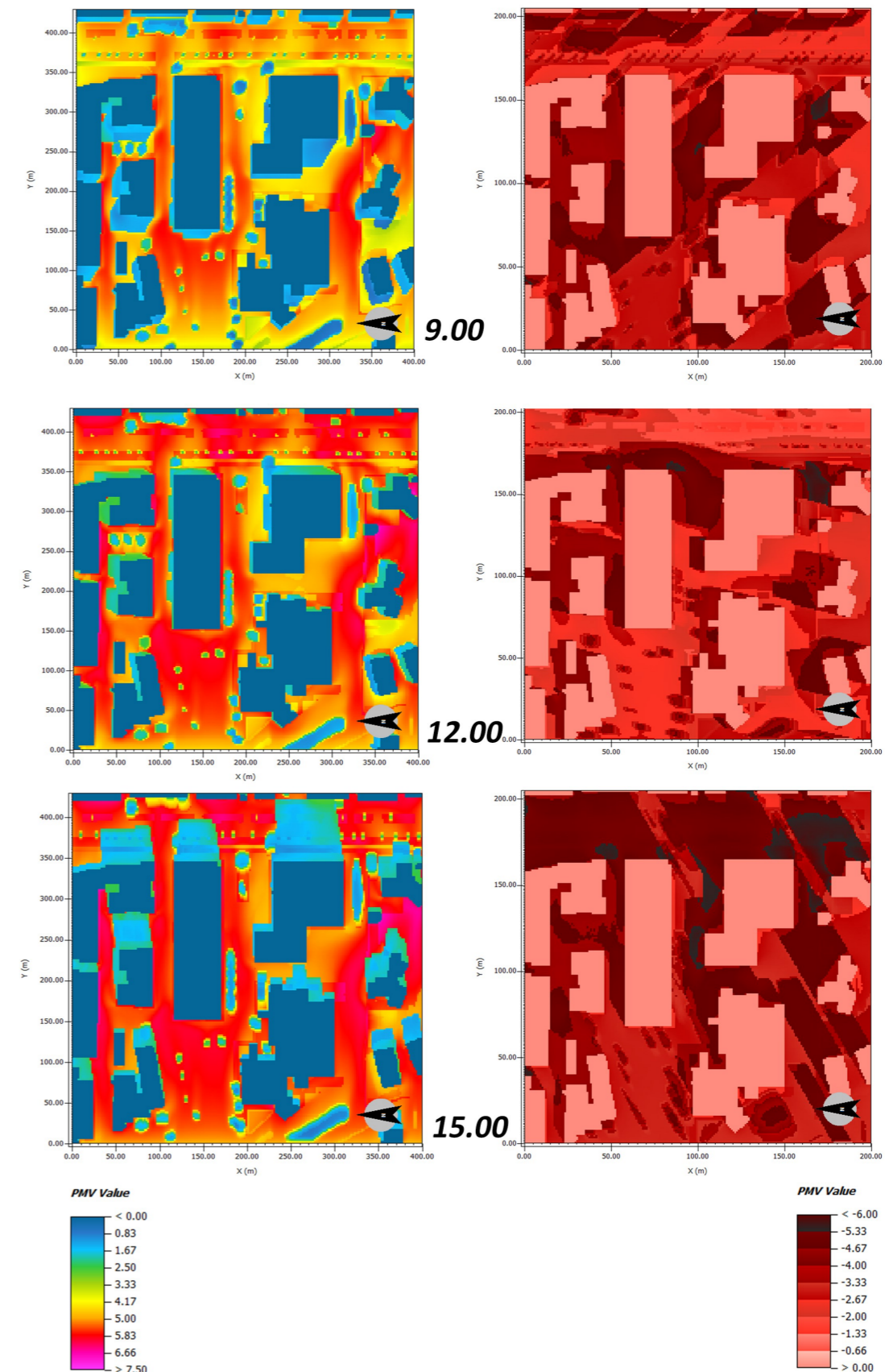


Figura 31 – Confronto del PMV nel periodo estivo (a sinistra) ed invernale (a destra)

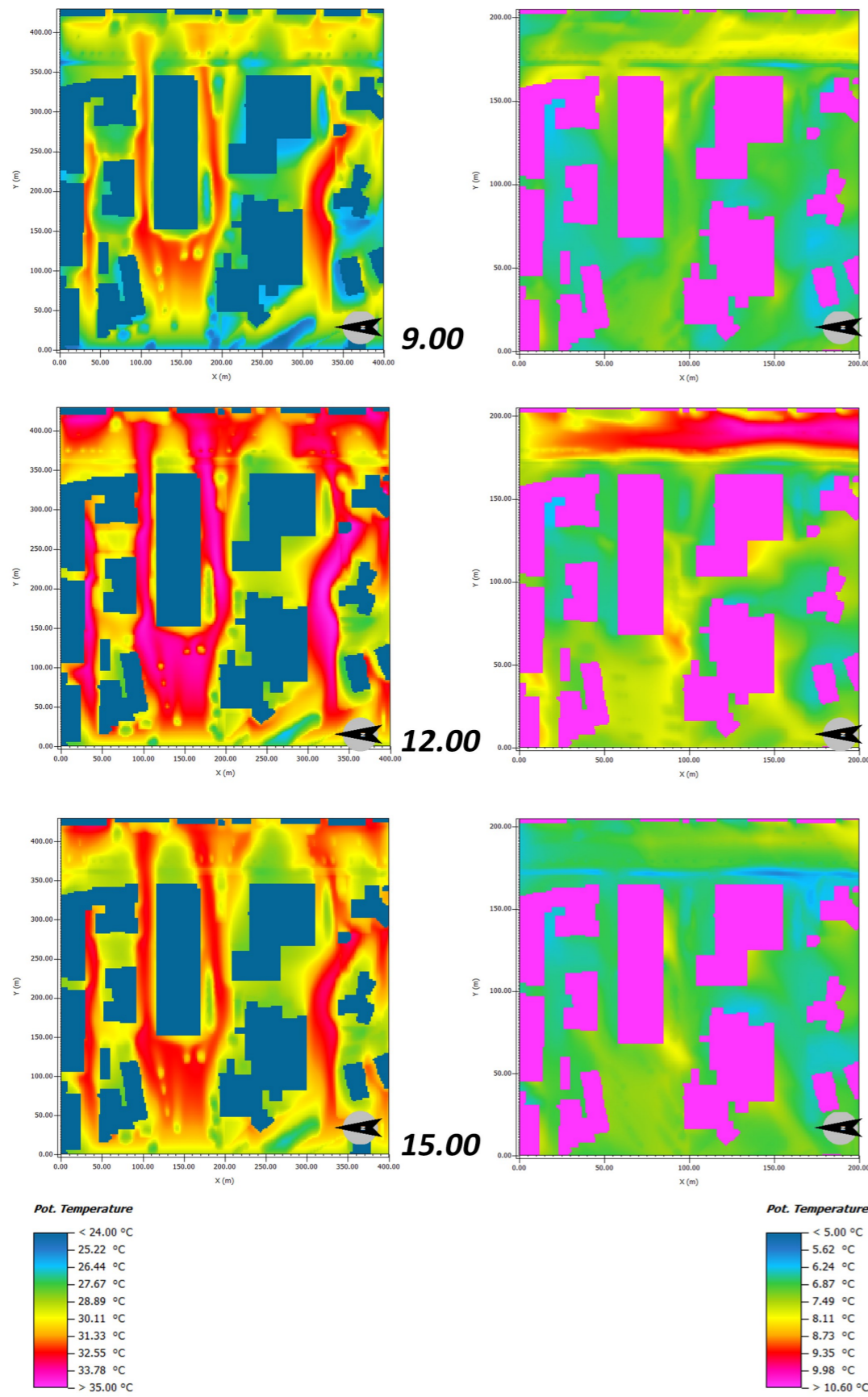


Figura 32 – Confronto della temperatura potenziale nel periodo estivo (a sinistra) ed invernale (a destra)

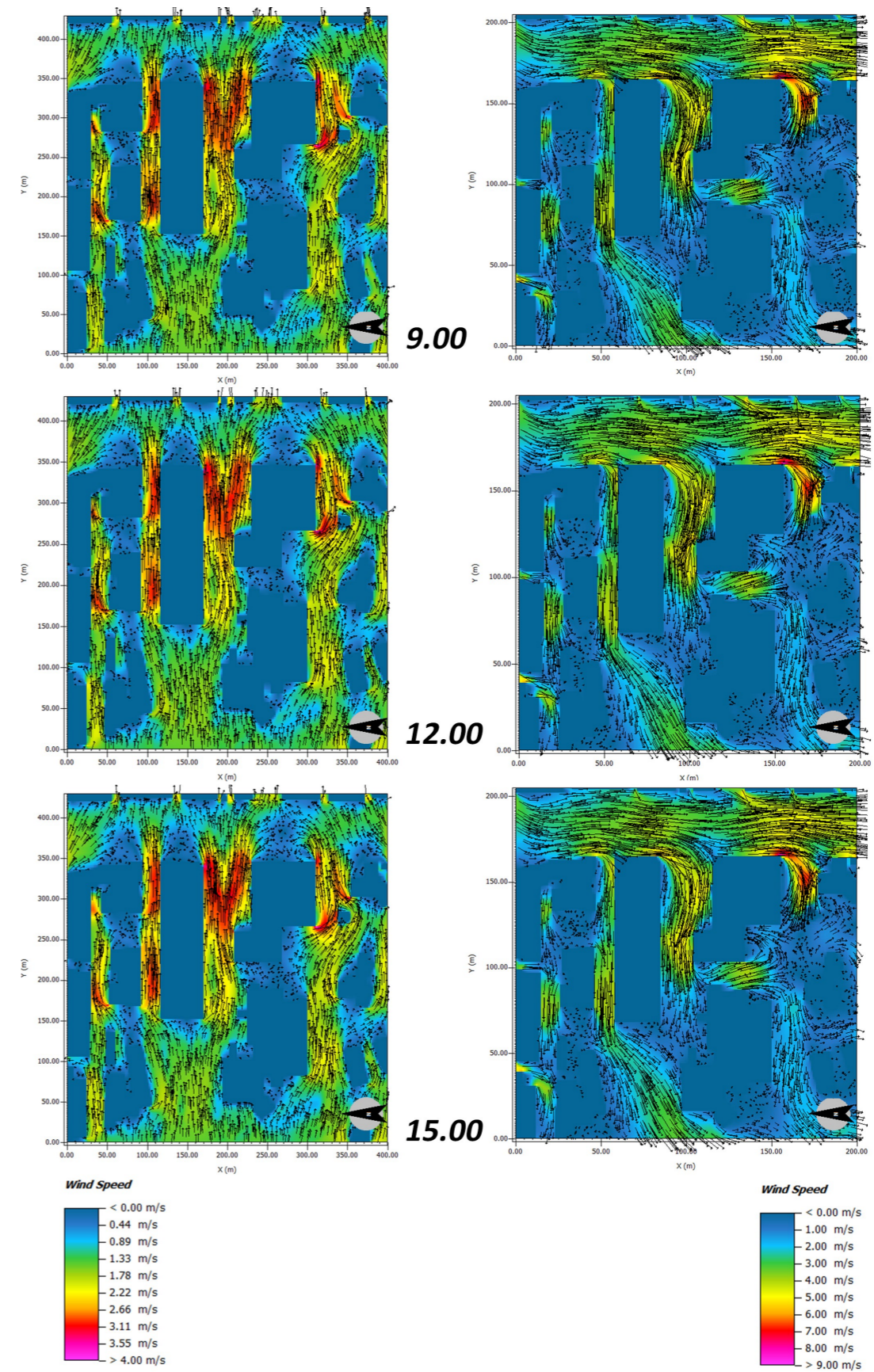


Figura 33 – Confronto del vento nel periodo estivo (a sinistra) ed invernale (a destra)

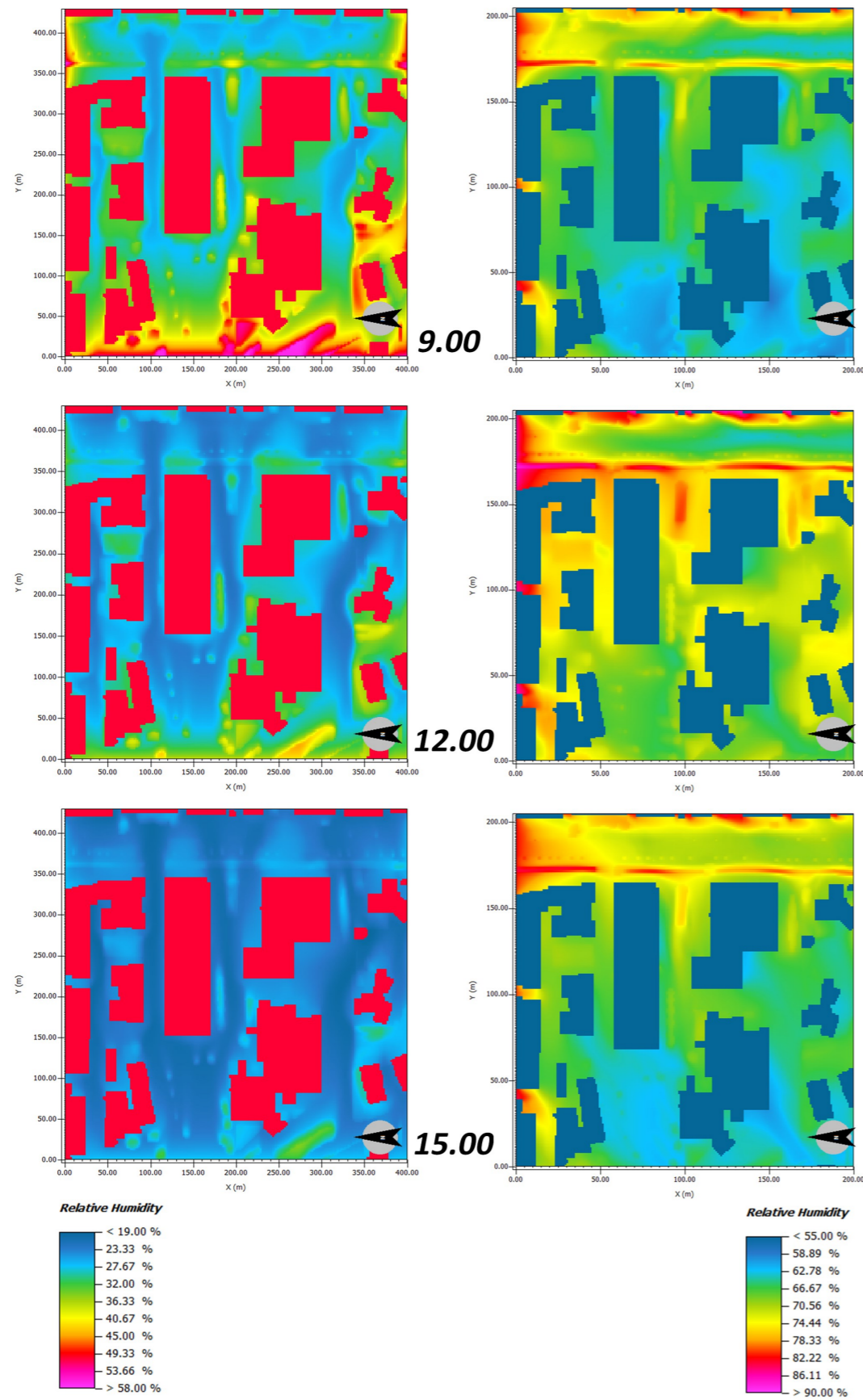


Figura 34 – Confronto dell'umidità relativa nel periodo estivo (a sinistra) ed invernale (a destra)

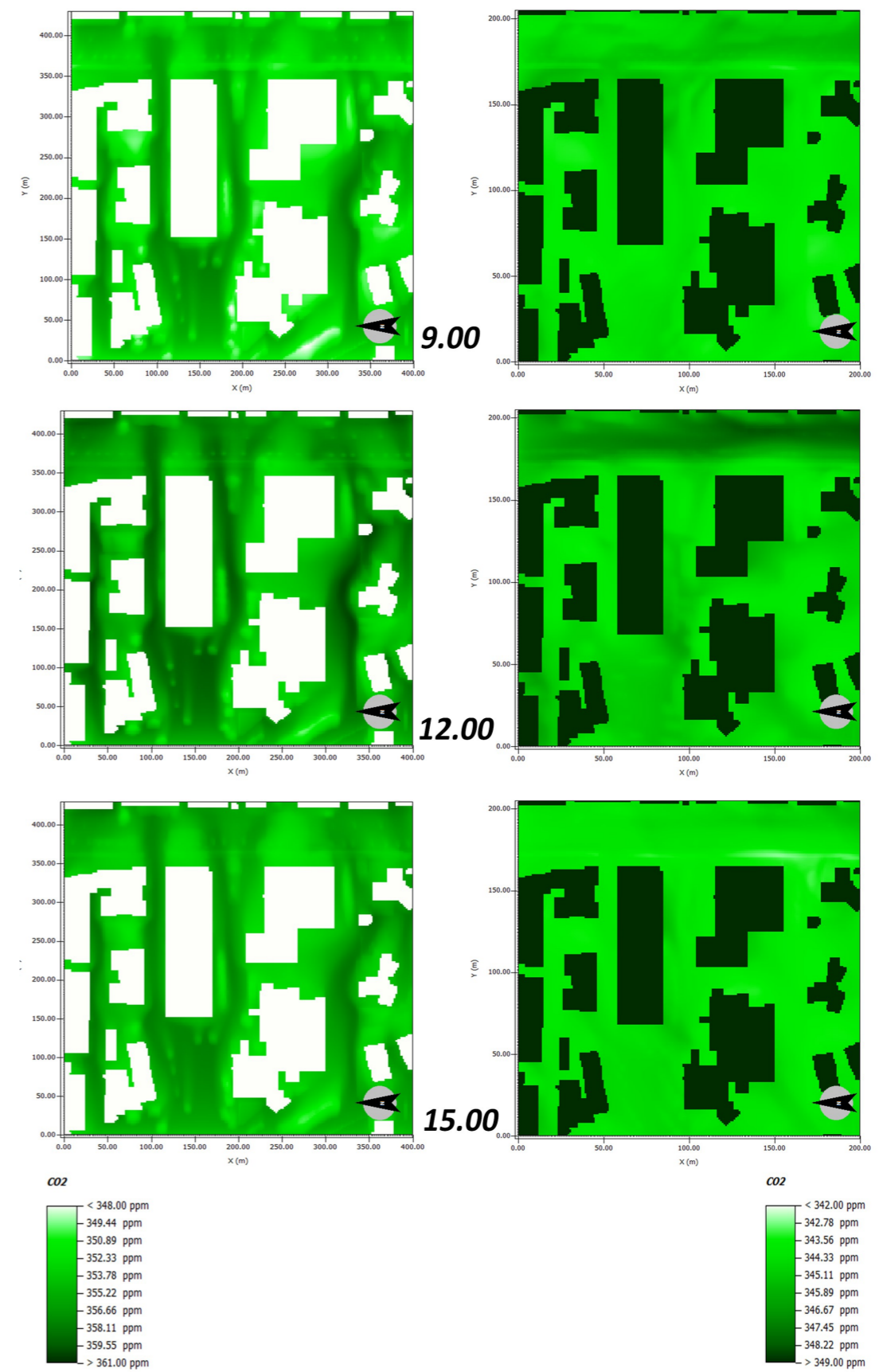


Figura 34 – Confronto della CO₂ nel periodo estivo (a sinistra) ed invernale (a destra)

2. Il progetto dimostratore

2.1 Considerazioni progettuali

Dallo studio dello stato di fatto dell'area in oggetto ne deriva la necessità di operare una riqualificazione basata sull'implementazione di *green street*, al fine di migliorare la qualità dell'area sia per mitigare i fenomeni di allagamento, sia per migliorare le condizioni microclimatiche e di *comfort* ambientale. Dai risultati ottenuti dall'analisi idraulica si è evidenziato un eccessivo afflusso d'acqua dovuto ad eventi stocastici di breve durata ma di grande impatto. Inoltre, dato il suo dislivello con via V. de Jasi di 2 metri, bisognerà trattenerne quanta più acqua possibile, in modo tale che l'acqua piovuta non si riversi sulla strada. Dai dati ottenuti, il volume totale di acqua meteorica calcolata nei 5 bacini, è in totale di circa 605 m³, avendo considerato un'area pubblica pari a circa 20.278 m²; questo ha consentito di ricavare il fabbisogno minimo pari a circa 1.272 m². Dai risultati delle modellazioni fluidodinamiche effettuate tramite ENVI-Met, si è riscontrata la pessima qualità microclimatica che affligge l'area, rilevabile in modo eclatante nel parametro del PMV, dove i valori ottenuti risultano superiori a quelli ammissibili, e ciò denota un forte disagio microclimatico da parte degli utenti del luogo. Particolare importanza ha anche il vento, il quale è fortemente presente nelle strade dell'area, come dimostrato sia tramite i risultati del paragrafo precedente sia personalmente dagli utenti. A questi risultati si affianca la mappa dell'*Urban Aspect Ratio* che evidenzia come la distanza tra gli edifici confrontati alla loro altezza, abbia determinato condizioni di Urban Canyon, che si evidenziano nei risultati di ENVI-Met tramite il parametro della Temperatura Media Radiante. Risultati analoghi al benessere si ottengono dagli indicatori del RIE e BAF, che risultano molto inferiori ai valori minimi ammissibili. Lo studio dello stato di fatto ha rilevato la forte presenza di traffico veicolare, causa sia dell'inquinamento atmosferico che dell'inquinamento acustico. Da un'attenta analisi visiva sul campo, sono stati riscontrati vari luoghi in un evidente stato di degrado, dovuto sia al fattore tempo, sia ad una cattiva gestione. Vi sono luoghi in cui i marciapiedi sono più alti del normale, con un'alzata che raggiunge i 20 cm circa, senza alcuna rampa che consentirebbe alle persone portatrici di handicap di poterli percorrere. Il verde presente ha varie criticità, tra le quali quella del poco spazio dato agli alberi, che per loro natura hanno bisogno di spazio per l'accrescimento delle radici, creando quindi disagi alla carreggiata stradale con il sollevamento del rispettivo manto.

Attraverso le sezioni dello Stato di Fatto, è stato possibile evidenziare i valori degli indicatori in una scala di valori (Alto, Medio, Basso), in modo da rendere la lettura di quest'ultimi, oltre che da un punto di vista puramente planimetriche, anche attraverso sezioni trasversali agli assi stradali.

Sezione A-A': Parcheggio tra Viale degli Artisti e Piazza Bernini



Sezione B-B': Verde urbano tra Via Vanvitelli e Viale degli Artisti

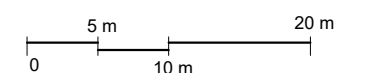
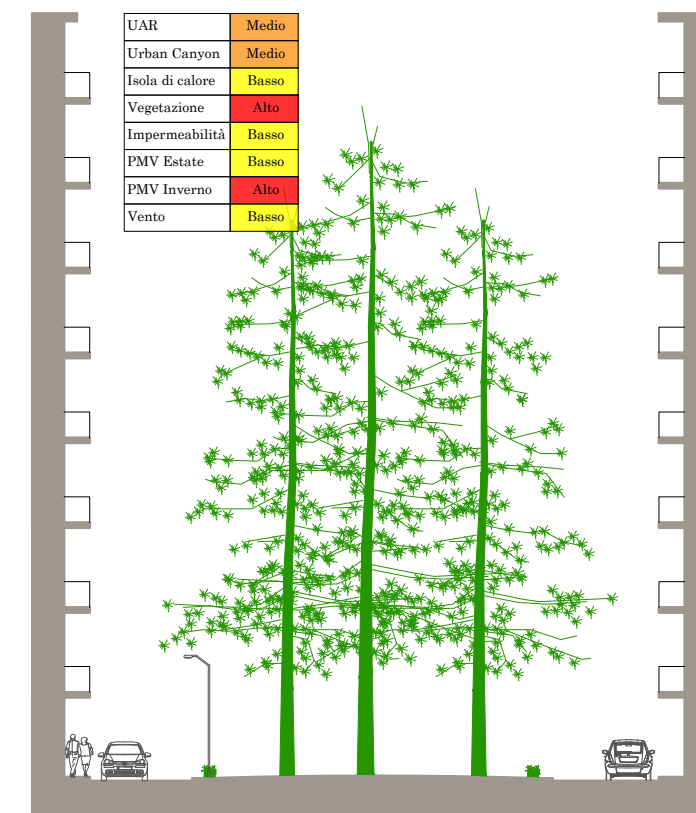
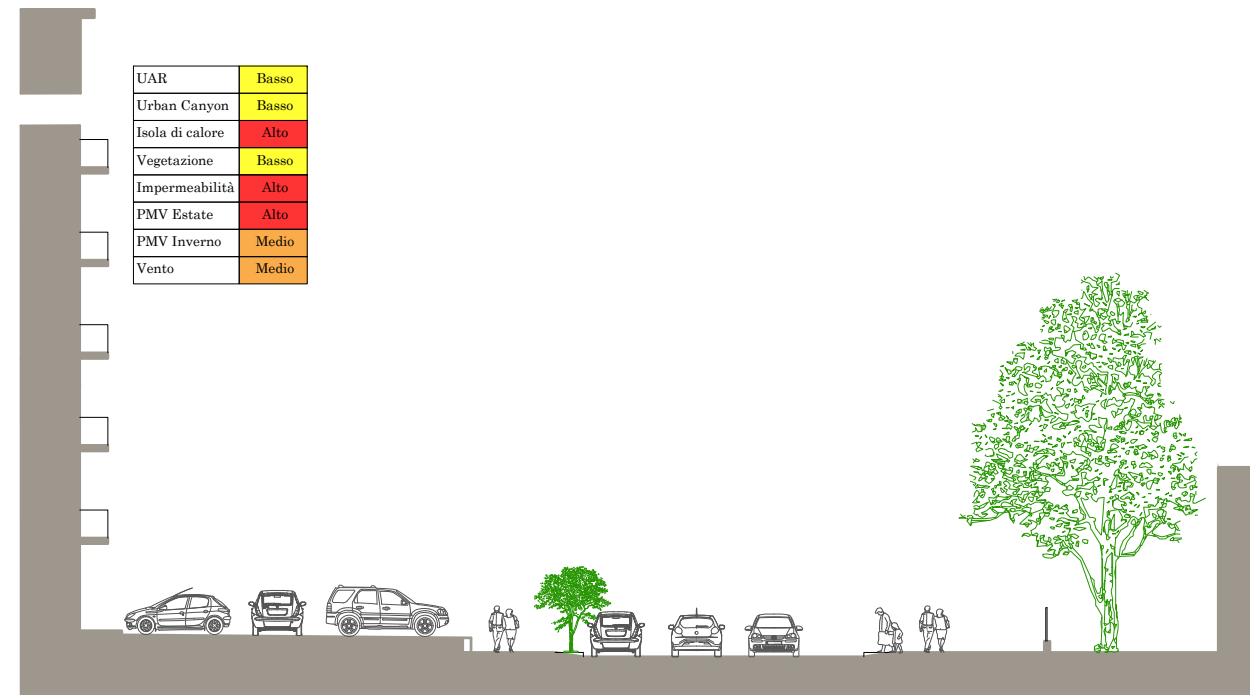
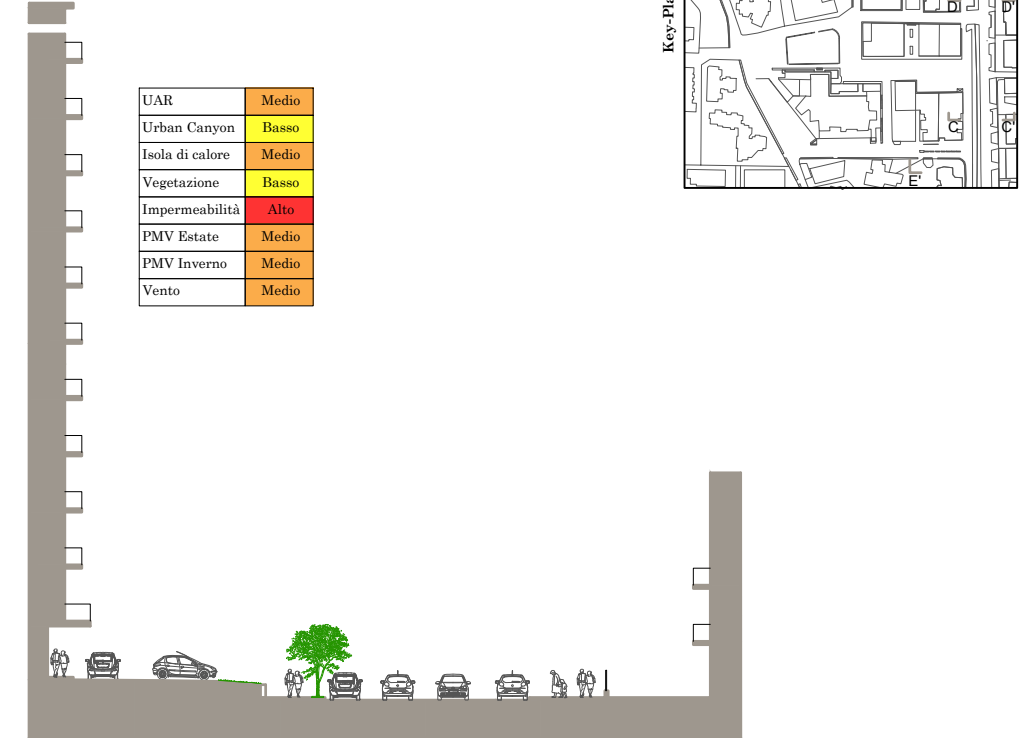


Tavola V - SEZIONI DELLO STATO DI FATTO

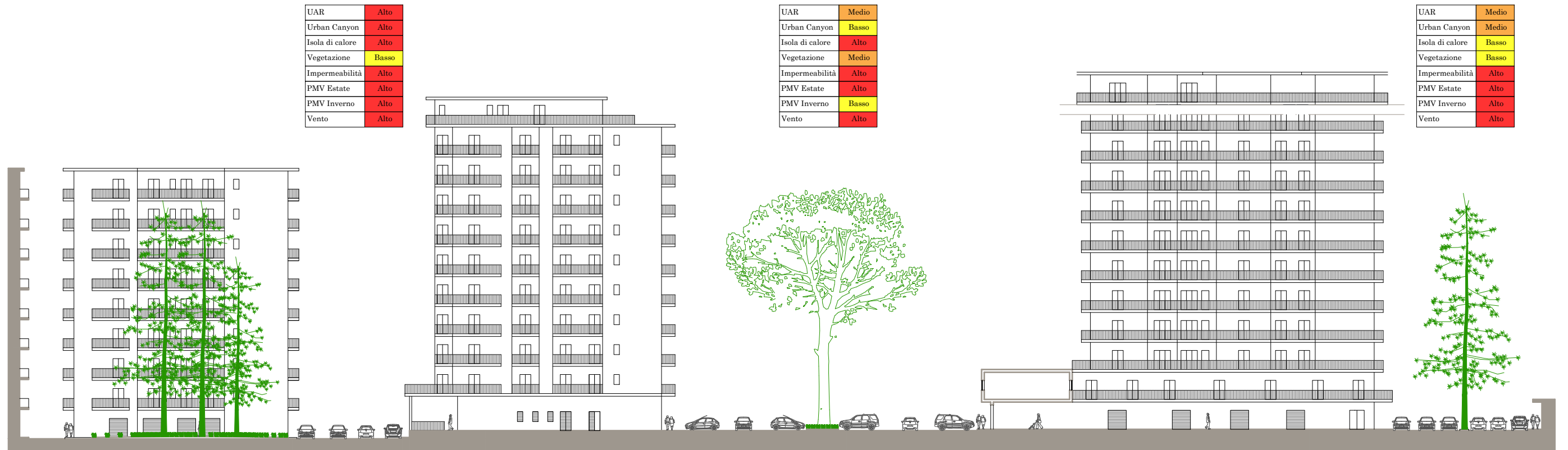
Sezione C-C': Via Vito di Jasi



Sezione D-D': Via Vito di Jasi



Sezione E-E': Viale degli Artisti - Piazza Bernini - Via Giorgio de Chirico



2.2 Il progetto

Il progetto ha come finalità il ripristino dell'invarianza idraulica⁵. La forte urbanizzazione iniziata dagli anni del dopoguerra ha causato una forte riduzione delle superfici permeabili, limitando quindi la capacità di assorbimento di acqua da parte dei terreni (fig. 36).

Come conseguenza le opere di drenaggio esistenti, ovvero i sistemi fognari, potrebbero non essere più in grado di far defluire correttamente la portata. Questo ha portato i vari enti normatori di definire il vincolo dell'invarianza idraulica, ovvero il mantenimento delle portate massime scaricate nei corpi idrici ricettori rispetto a quelle preesistenti all'urbanizzazione. Con questo si intende il fatto che non solo le portate, ma anche i volumi di deflusso meteorico non debbano essere maggiori di quelli preesistenti. Al fine di mantenere l'invarianza, gli interventi previsti nel progetto sono indirizzati alla realizzazione di opere o aree di infiltrazione (GSI) che vadano a compensare l'impermeabilizzazione realizzata con gli interventi di urbanizzazione. Si fa leva quindi sul meccanismo della laminazione (fig. 37), che tende ad immagazzinare il volume d'acqua piovana, con rilascio controllato e differito della portata.

Da queste considerazioni progettuali, tramite le linee di flusso delle acque, sono state individuate le aree in cui verranno progettate le *Green Stormwater Infrastructure*. La loro posizione ha lo scopo, vista la caratteristica morfologica dell'area, di farla diventare un grande bacino raccoglitore, facendo sì che le acque di ruscellamento non invadano le aree altimetricamente mino-

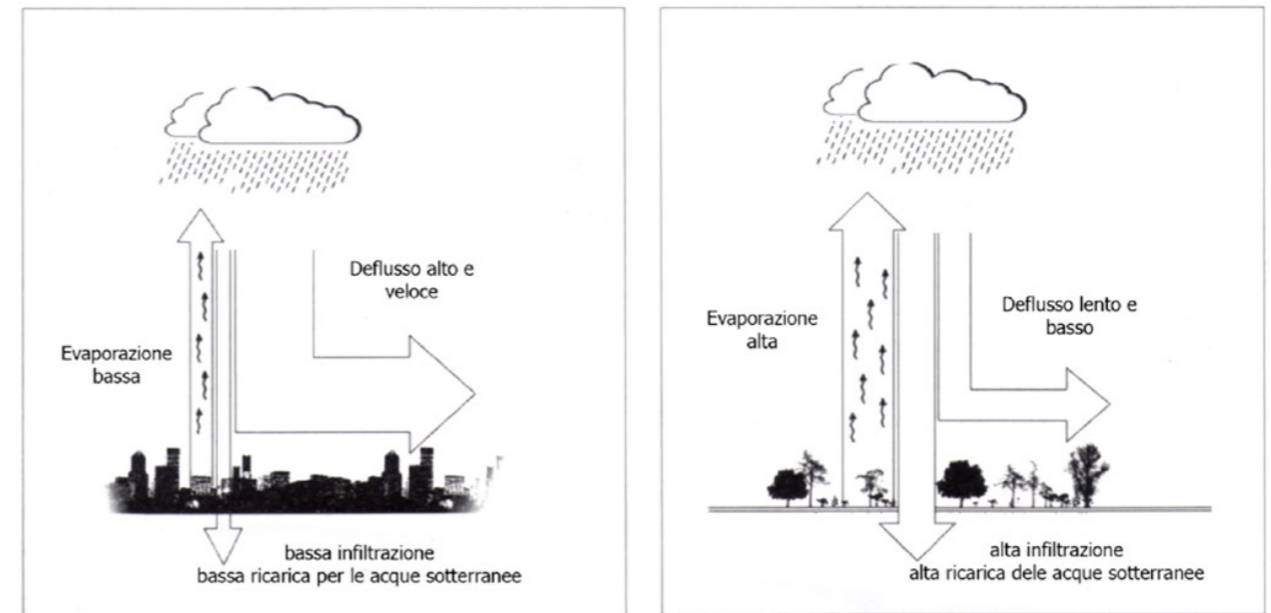


Figura 36 – Invarianza idraulica nelle trasformazioni del suolo. Caratteristiche del deflusso, infiltrazione, evaporazione nelle aree urbane (sinistra) e nelle aree naturali (destra). Fonte: *Pianificazione Urbanistica e dimensione ambientale: il contributo del Water Sensitive Urban Design (WSUD) al miglioramento della sostenibilità urbana*, p. 2

⁵ Le Legislazioni Comunitarie, Nazionali e Regionali recepiscono il principio dell'invarianza idraulica a tutela dell'ambiente e dei cittadini con l'emanazione di Direttive e Norme che impongono una maggiore attenzione per la difesa del suolo. Vengono, per esempio, definiti i volumi di stoccaggio che devono essere mantenuti, prima e dopo l'intervento di urbanizzazione. Alcune delle principali direttive sono, ad esempio:

- *Direttiva CE 2007/60 valutazione e gestione dei rischi di alluvioni*
- *Legge Lombardia RR n.7 del 23/11/2017 e n.8 del 19/4/2019*
- *Emilia Romagna Direttiva idraulica PAI-PRRA DGR 2112/2016 (art.2)*
- *Veneto DGR 2948 del 6/10/2009 relativo Allegato A*
- *Marche L.R.227/2011*
- *Friuli DGR n.800/2018.*

Si riporta a titolo di esempio la Legge introdotta dalla Regione Lombardia con la L.R. 4/2016 Art. 7, modifiche alla L.R. 12/2005: "Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua", con allegato il regolamento "criteri e metodi per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica". Il decreto definisce:

- a) *invarianza idraulica: principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione;*
- b) *invarianza idrologica: principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;*
- c) *drenaggio urbano sostenibile: sistema di gestione delle acque meteoriche urbane, costituito da un insieme di strategie, tecnologie e buone pratiche volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano, a contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici ricettori mediante il controllo alla sorgente delle acque meteoriche e a ridurre il degrado qualitativo delle acque.*

Ai fini della redazione del regolamento il territorio regionale è stato classificato e suddiviso in tre categorie in ragione della stima della criticità idraulica cui esso è soggetto. Le tre categorie così definite sono quindi:

- "AREA A" elevata criticità idraulica: massima portata meteorica scaricabile nei recettori pari a 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile;
- "AREA B" media criticità idraulica: massima portata meteorica scaricabile nei recettori pari a 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile;
- "AREA C" bassa criticità idraulica: massima portata meteorica scaricabile nei recettori pari a 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile.

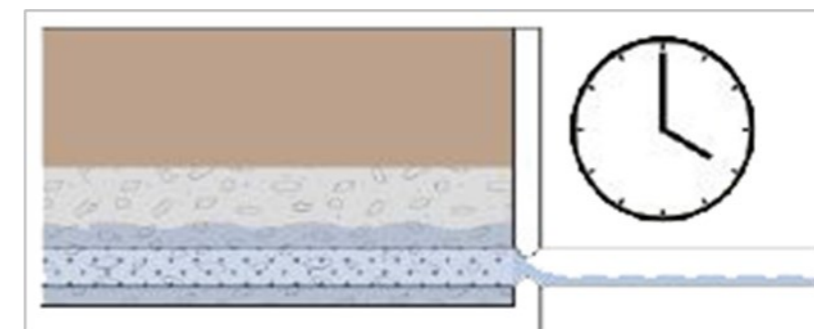


Figura 37 – Schema di laminazione o Detenzione. Il sistema raccoglie e trattiene il deflusso in strutture di stoccaggio temporaneo o sistemi con vegetazione, prima di rilasciare lentamente l'acqua nel sistema di scarico. Fonte: *Urban Street Stormwater Guide* p. 16

ri. Sono state scelte le tipologie di GSI, quali: *Stormwater bump-out*, *Stormwater Planter*, *Stormwater Rain Garden*. Inoltre, sulla base delle esperienze del PRIN, le piante per le infrastrutture dedicate alle GSI, "devono poter gestire le acque di ruscellamento in ambiente urbano note per la mobilitazione ed il trasporto di inquinanti con particolare riferimento al traffico veicolare" (PRIN 2015). A valle dei processi decisionali effettuati nel PRIN, sono state scelte in questa area il tiglio (*Tilia sp.pl.*) e il *Cercis siliquastrum L.*, anche in virtù delle analisi effettuate con il software ENVI-Met, in quanto, la presenza di alberi sempreverdi producono effetti non benefici in inverno. Infatti, la chioma, creando ombra, rifletterà su altre ombre, definendo un ambiente in cui le temperature saranno ancora più fredde. Infine, per la fitodepurazione delle acque meteoriche sono state scelte specie del genere *Juncus*, *Salix* e *Populus*. Infine, si è deciso di non espiantare gli alberi già esistenti, ma di tenerli, in quanto sarebbe un omicidio tagliare specie vegetali ancora viventi e che contribuiscono, per quanto nelle loro capacità, alla riduzione di inquinamento. Si è intervenuti, invece, sulla risistemazione di essi, creando spazi più ampi

alla base degli alberi, in modo tale che le radici non producano effetti spiacevoli per la circolazione veicolare e pedonale. Il progetto ha, inoltre, lo scopo di ripristinare il *comfort* ambientale dell'area, in modo da far sì che questa sia più vivibile, sia da un aspetto microclimatico che sociale. Infatti, solo una consapevole e informata attività progettuale può ripensare gli spazi urbani ereditati dal passato, per renderli riconoscibili alle nuove sensibilità sociali⁶ (Bosco A., 2012). Attraverso le analisi dello stato attuale si sono individuati luoghi in cui è possibile configurare spazi urbani capaci di soddisfare anche l'anima delle persone (Bosco A., 2012), creando luoghi in cui *"la città di asfalto deve scomparire"* (Giedion, 1956).

Si sono valorizzati luoghi come Piazza Bernini, attualmente usata solo come parcheggio a cielo aperto, che ha invece una grande potenzialità per le varie attività commerciali presenti in loco, e che quindi vanno evidenziate, tramite una risistemazione urbana ricreando il concetto proprio di piazza che non è solo uno spazio architettonico che caratterizza la città, ..., ma un centro dove si uniscono storia, architettura e relazioni sociali di un luogo⁷ (Polizzi D., 2019).

Un altro luogo è il parcheggio tra Piazza Bernini e Viale degli Artisti, in cui si è riscontrata una condizione microclimatica carente, e per questo, vista anche la mancanza di spazi pubblici verdi nell'area, si è pensato di sfruttare l'area ripensandola come parco di quartiere, in cui i cittadini possono trovare sollievo sia in termini di clima che in termini di socialità, in cui anche i bambini possono ritrovare beneficio, in quanto non sono presenti spazi adatti al loro.

Sono stati ripensati gli spazi pedonali, ridisegnando i marciapiedi dove necessari, affiancati dove possibile da strisce di vegetazione, così da creare un sollievo climatico durante le passeggiate e per far sì che il cittadino sia immerso, per quanto possibile, in un ambiente vegetale. Sono stati, inoltre, ripensati i sensi di marcia, affinché la circolazione veicolare sia la più semplice e sicura possibile, al fine di ridurre il traffico e il suo rumore fastidioso. Sull'esempio della città di Aversa, è stato inglobato, nel progetto di tesi, il servizio di *bike-sharing*⁸, che prevede la realizzazione di una pista ciclabile continua, con il fine di ridurre l'uso delle autovetture a fronte dei sempre più pubblicizzati mezzi di trasporto *green*, come bici, bus e monopattini elettrici.

Per far fronte alle turbolenze e alle correnti eoliche presenti, è stata adottata, in particolar modo in P. Bernini e nel parcheggio riqualificato a parco, la tecnica del *quinconce*⁹ in modo da creare una barriera contro i venti (fig. 38).

Nel tratto di via L. da Vinci parallelo a via V. di Jasi, è stata sostituita la striscia verde con uno *Stormwater Rain Garden*, in modo che l'acqua proveniente da monte dell'area circoscritta, venga raccolta in questa GSI, evitando di invadere così via V. di Jasi. Inoltre, i binari dell'Alifana sono stati sostituiti da un tratto della pista ciclabile, con l'idea di ripercorrere il tratto della ex ferrovia, non più su delle rotaie ma sulle ruote delle bici.

Il verde presente tra Via Vanvitelli e Viale degli Artisti è stato ripensato in modo da poter essere usufruito dalle persone che vivono quel luogo, risistemando il verde, aggiungendo delle sedute in cui gli utenti del luogo possono trovare ristoro dalle elevate temperature estive, vista la potenziale presenza di ombra in questo luogo.

L'unica area che non ha interessato il progetto di questa tesi è via V. di Jasi, in quanto già trattata in maniera esaustiva dall'equipe del progetto di ricerca del PRIN 2015, ed è stata riportata con il solo scopo di completezza del progetto, in modo da creare un *continuum* con il restante progetto.

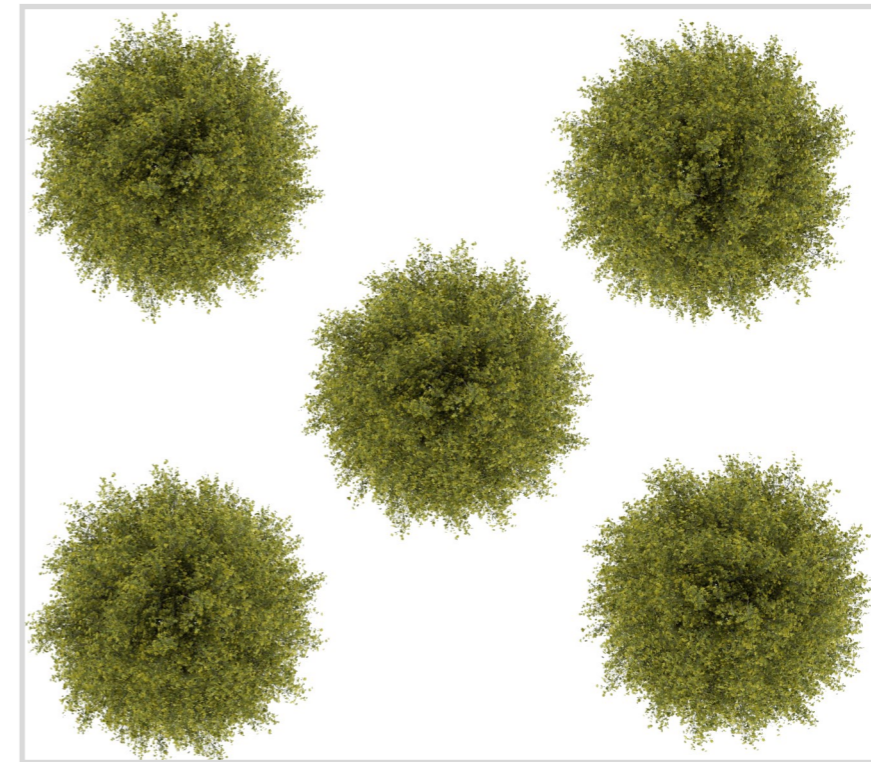


Figura 38 – Esempio di disposizione planimetrica del *Quinconce*

⁶ Bosco A., Rinaldi S., Valente R. (2012), *Strumenti di progetto per il microlandscape urbano*, Alinea Editrice, p.76

⁷ Polizzi D. (2019). La Piazza, Sito web *Cultura*

⁸ Con i servizi di *sharing* si rinuncia a possedere un veicolo privato ma non alla flessibilità che esso può offrire in termini di disponibilità nello spazio e nel tempo. In questi servizi, l'utente, previa iscrizione ad un portale, prenota in anticipo il veicolo presso un parcheggio preferito, lo utilizza per il tempo necessario e lo riconsegna in un altro parcheggio. Gli esempi più diffusi di *sharing* sono di auto e bici utilizzate nel trasporto urbano. (Carteni A., 2016)

⁹ Il quinconce è la disposizione di cinque unità nel modo in cui è tipicamente raffigurato il numero cinque sulla faccia di un dado o su una carta da gioco. Il nome deriva dal *Quincunx* della monetazione romana. In arboricoltura è la disposizione degli alberi in un frutteto quando si piantano nel modo descritto, e cioè ai vertici di triangoli isosceli. (Treccani)

Tavola VI - PROGETTO DIMOSTRATORE AREA "AVERSA SUD"

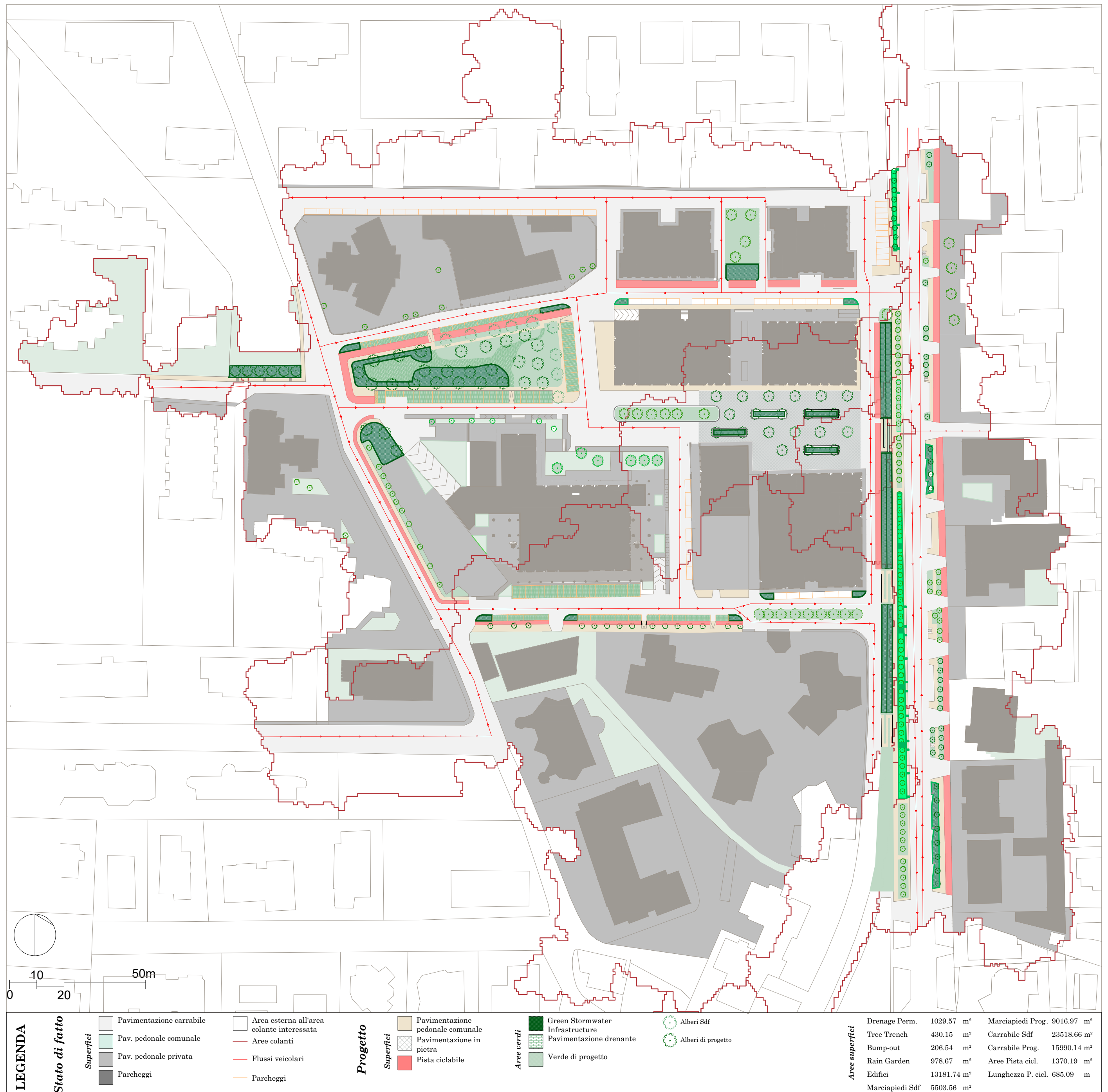
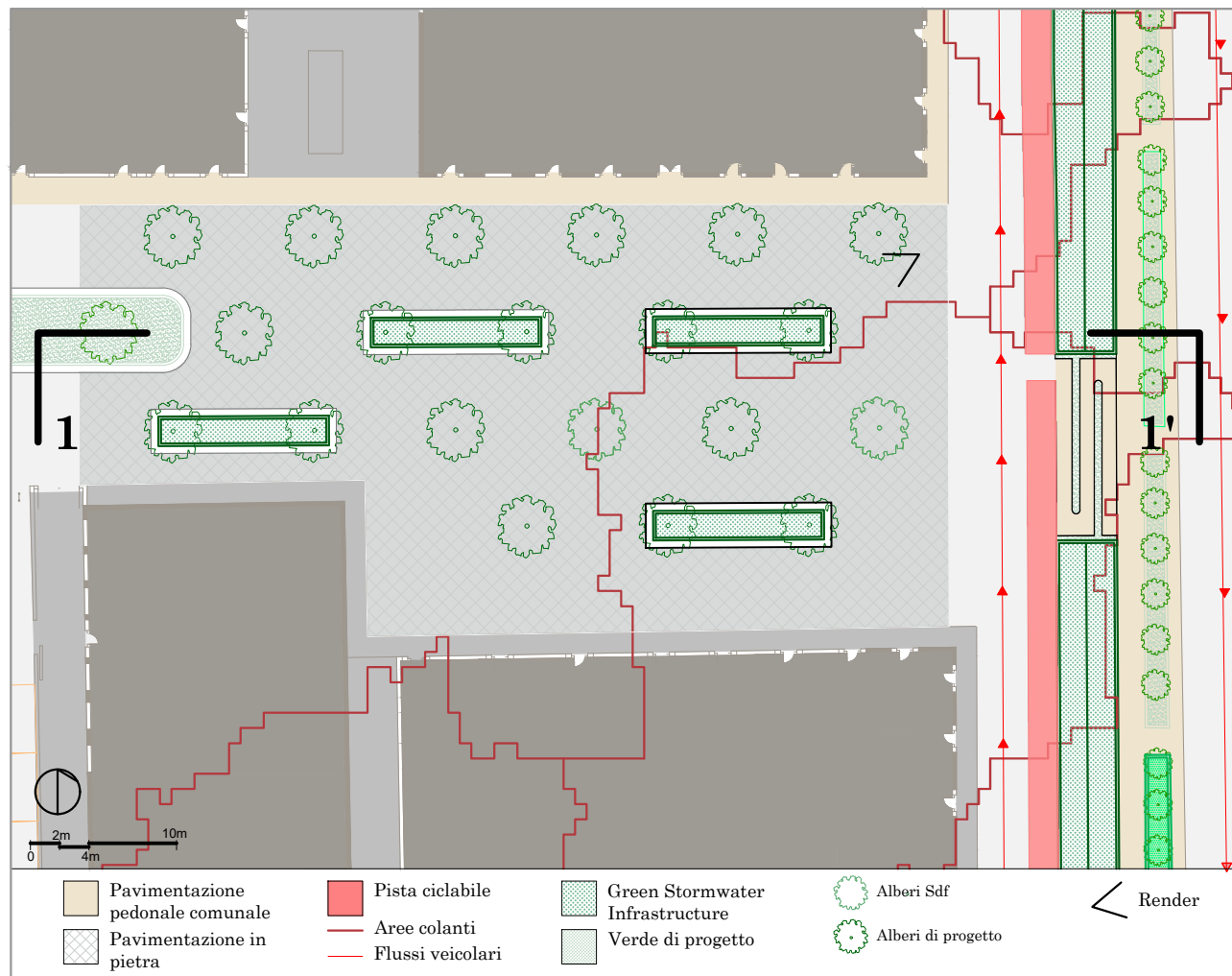


Tavola VII - FOTO-INSERIMENTO PROGETTO DIMOSTRATORE AREA "AVERSA SUD"



Tavola VII - PROGETTO DIMOSTRATORE IN PIAZZA BERNINI



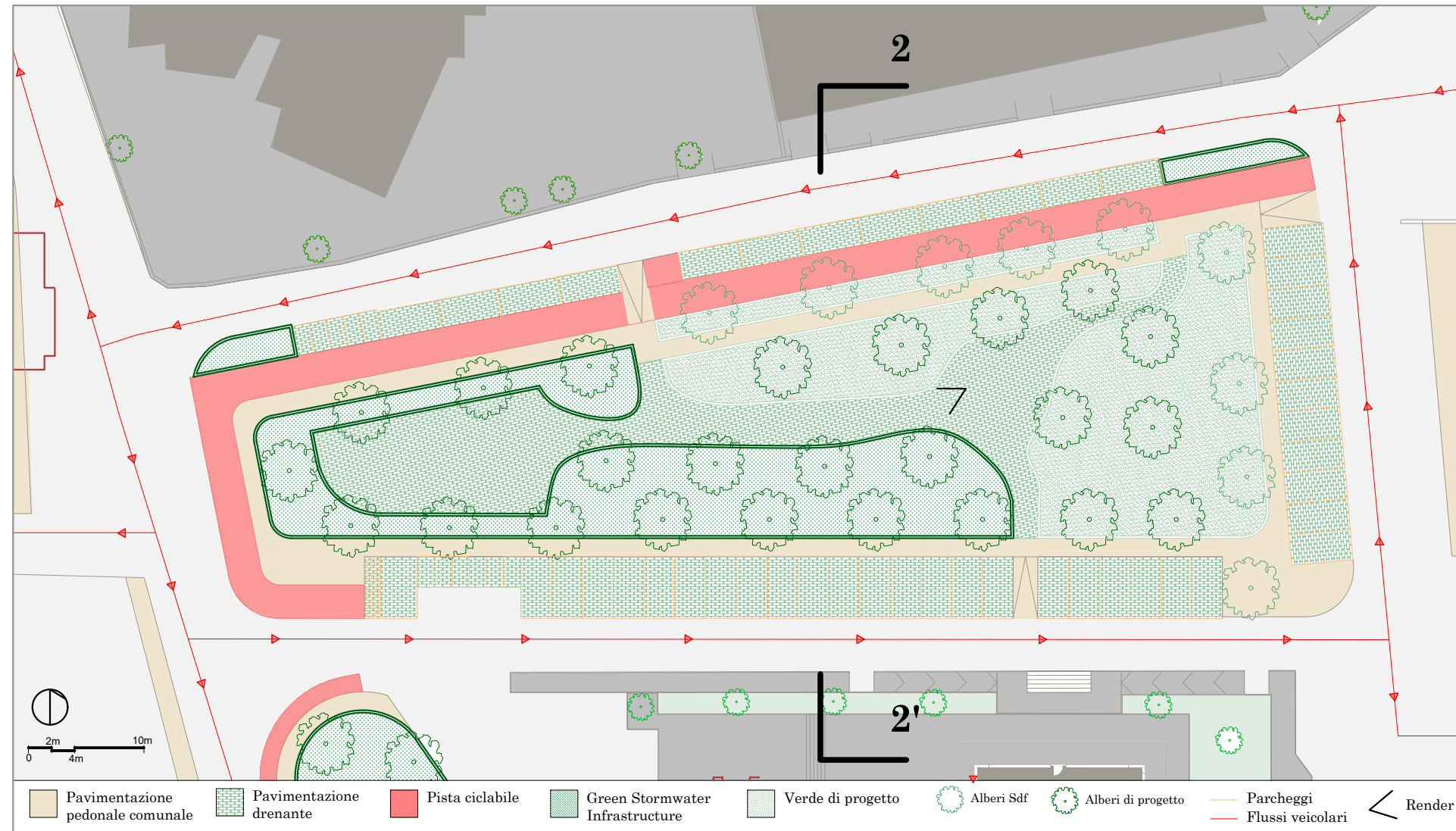
Sezione 1 - 1'



Il progetto presentato ha lo scopo di ridurre i *deficit* idraulici e microclimatici e di ricreare il concetto di piazza che tutt'ora è stato vietato a Piazza Bernini. Attraverso i risultati delle analisi effettuate (idraulica, microclimatica, delle ombre), si sono studiate soluzioni che cercano di risolvere i problemi emersi nello Stato di Fatto. All'interno dell'area tra le problematiche riscontrate nelle analisi, si citano: alte temperature e valori elevati del PMV nel periodo estivo; velocità del vento elevata nel periodo invernale; forte impermeabilizzazione con scarsa vegetazione presente con conseguente rischio di allagamenti. Al fine di ridurre l'impermeabilizzazione del suolo e mitigare il deflusso delle acque piovane, sono stati inseriti 4 *Stormwater Planters*, con un'ulteriore scopo di sensibilizzare e far conoscere alla popolazione questa tecnologia innovativa. Per ridurre i parametri microclimatici, si è agito sia incrementando il numero di alberi presenti, adottando la disposizione del *quinconce*, al fine di creare una barriera contro il forte vento, sia sostituendo la pavimentazione stradale, in conglomerato bituminoso, con una pietra di colore chiaro, in modo da ridurre la quantità di calore imprigionata durante il giorno. Dalle estrapolazioni effettuate con il *software* ENVI-Met e dai risultati degli indicatori, si deduce che il progetto presentato, riesce a mitigare i *deficit* presentati. Infine, dallo *sky-line* della sezione, si è cercato di collegare l'area interessata con via V. di Jasi, sia attraverso percorsi pedonali e ciclabili, sia attraverso la vegetazione, in modo che "l'opera umana diventi solidare con l'opera della natura"⁸.

⁸ Le Corbusier (1946), *Maniera di pensare l'urbanistica*, Editori Laterza

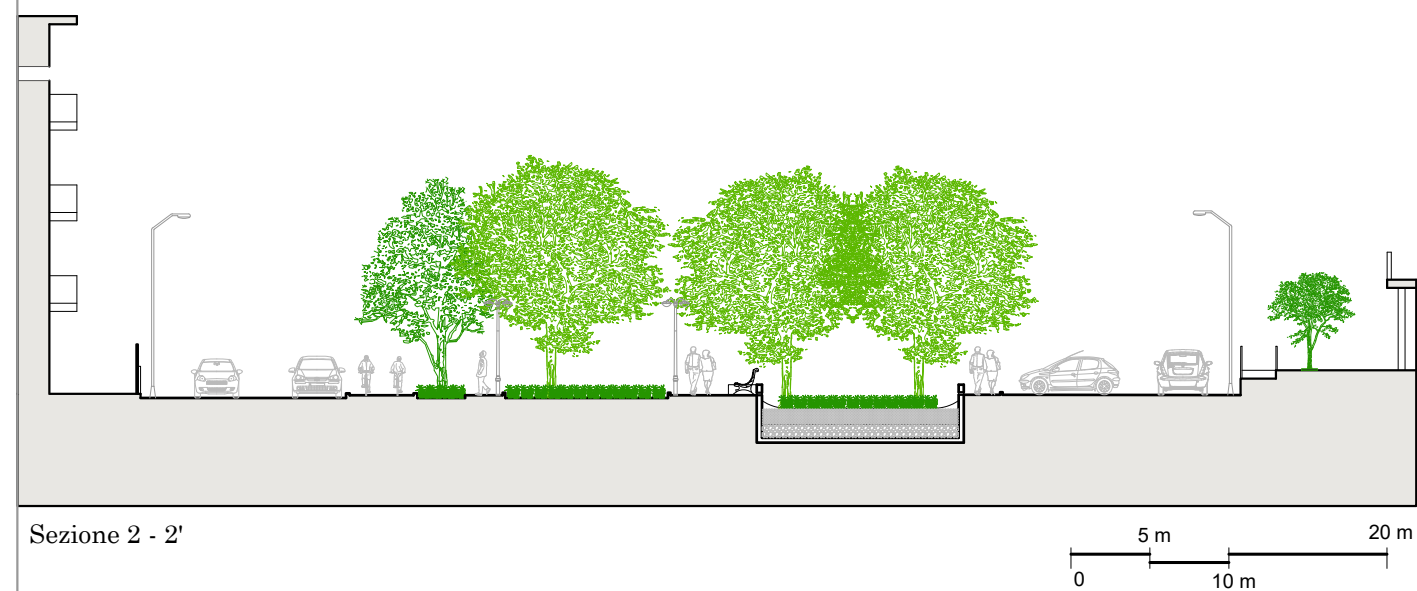
Tavola VII - PROGETTO DIMOSTRATORE DEL "MINI PARK" TRA VIALE DEGLI ARTISTI E PIAZZA BERNINI



Dallo studio effettuato nello Stato di Fatto si evince che l'area presenta condizioni microclimatiche estreme, soprattutto per le alte temperature che si registrano nel periodo estivo, dovute in particolar modo alla scarsa presenza di zone d'ombra e di alberi. La particolare posizione che coincide con l'intersezione di più linee di deflusso, ha consentito di sfruttare questa area come un grande captatore di acque piovane, evitando che queste defluiscano verso valle (via V. di Jasi). Dovendo quindi limitare i deficit microclimatici, installare una grande GSI, e creare nell'area di studio un luogo di interesse comune, è nato il progetto del "Mini Park".

Il progetto si sviluppa intorno al *Rain Garden*, che ha lo scopo di raccogliere buona parte delle acque piovane del bacino in cui è posto (con un fabbisogno di circa 730 mq). Al fine di ridurre la forte impermeabilizzazione del suolo, sono state progettate aree verdi ed è stata adottata all'interno del parco una pavimentazione drenante, che insieme al verde sono un ulteriore supporto di raccolta di acque piovane. Infine, al fine di incrementare le aree ombreggiate sono stati installati 24 alberi, oltre ai 9 già presenti, posizionati a *quinconce*.

Il parco sostituirebbe il parcheggio presente, e per questo motivo, al fine di conservare gran parte dei posti auto, sono stati ricavati intorno al parco 47 stalli per le auto e 11 per veicoli a due ruote. Infine, intorno ad esso, si sviluppa la pista ciclabile che collega Viale degli Artisti con Via Giotto.



2.3 Risultati ottenuti

Per poter effettuare una corretta valutazione degli interventi proposti si è reso necessario individuare dei criteri di confronto tra stato attuale e futuro dell'area di studio. La valutazione viene effettuata usando degli indicatori, che rappresentano uno strumento di confronto sulla base del quale il processo identifica obiettivi e target quantitativi e verifica progressivamente l'efficacia delle strategie e delle linee d'azione attivate per il raggiungimento degli obiettivi¹¹ (Losasso, 2017). Nella fase di analisi dello stato di fatto, sono stati individuati gli indicatori che hanno consentito di individuare le varie criticità dell'area di studio al fine di effettuare una corretta analisi delle scelte più idonee al miglioramento dell'area di studio. Gli stessi indicatori sono stati usati poi nella fase progettuale, al fine di definire il grado di *performance* e identificare il livello di impatto ambientale che il progetto avrebbe sul sistema urbano.

Sono stati quindi individuati quattro categorie di indicatori prestazionali¹²:

- indicatori di prestazione idraulica;
- indicatori di prestazione urbana;
- indicatori di prestazione microclimatica;
- indicatori di prestazione economica e sociale.

La stima degli indicatori consentirà, quindi, di definire l'efficacia delle strategie e le linee d'azione per perseguire gli obiettivi prefissati.

Indicatori di prestazione idraulica	Indicatori di prestazione urbana	Indicatori di prestazione microclimatica	Indicatori di prestazione economica e sociale
<ul style="list-style-type: none"> • Percentuale Acqua Meteorica Raccolta • Nuove Aree Permeabili 	<ul style="list-style-type: none"> • Verde Urbano Fruibile • Riduzione Impatto Edilizio • Biotope Area Factor 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuove Aree Ombreggiate • Parametri Microclimatici 	<ul style="list-style-type: none"> • Piste Ciclabili • Analisi Costi-Benefici

In definitiva, gli indicatori possono essere utilizzati come strumento di confronto tra Aree Urbane appartenenti alla stessa tipologia, in modo da definire un *iter* processuale con lo scopo di creare mappe tematiche che individuino scenari futuri di miglioramento, ottenibili attraverso specifiche concezioni progettuali e mirate soluzioni tecniche.

¹¹ D'Ambrosio V., Leone M.F., *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. Strumenti e indirizzi per la riduzione*, Napoli, Clean Editori, 2017.

¹² In generale un indicatore prestazionale è uno strumento che permette di rappresentare la capacità dell'intervento, misurabile qualitativamente o quantitativamente. Gli indicatori prestazionali devono consentire la comparazione tra la condizione corrente e quella di riferimento, individuata attraverso la precisazione di un obiettivo e permettendo, in tale maniera, di misurare lo scostamento della prima dalla seconda (Losasso, 2017).

2.3.1 Percentuale Acqua Meteorica Raccolta

Nell'area in oggetto di studio, in riferimento alle superfici minime di GSI, pari a **1272 m²**, sono state progettate **28 GSI** (*Stormwater Rain Garden, Stormwater Tree-Trench, Stormwater Bump-out*), con una superficie totale di **1615 m²** (fig. 39).

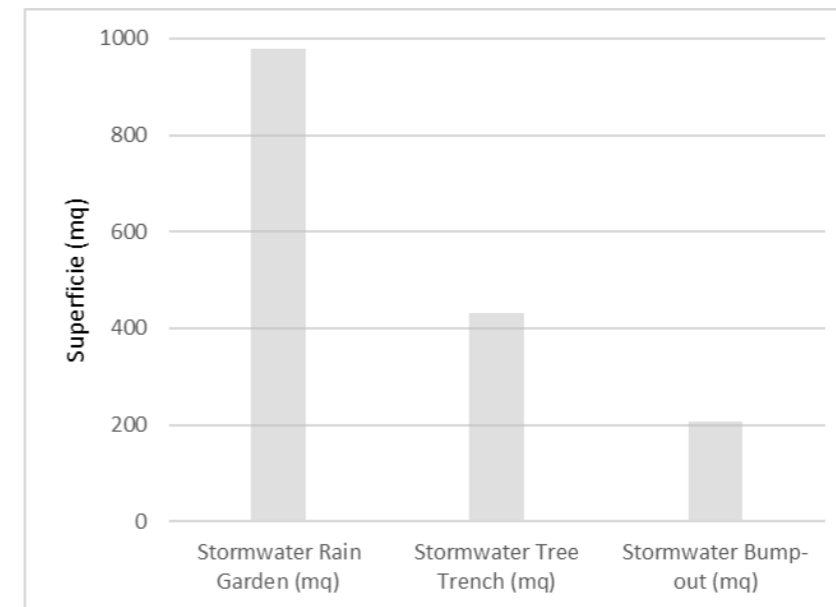


Figura 39 – Superfici Green Stormwater Infrastructure progettate

Attraverso la superficie progettata è stato possibile ottenere il volume di acqua piovana gestita, che ricavata tramite la relazione:

$$V_w = h_{GSI} \cdot \varphi \cdot \sum_{i=1}^n S_{GSI}^i$$

dove:

- S_{GSI}^i = Superficie i-esima della GSI;
- h_{GSI} = Altezza della GSI;
- φ = coefficiente di porosità del terreno, pari a 0.35;

è pari a **848 m³**. Da questo risultato se ne deduce che i dispositivi *green* riuscirebbero a recuperare non solo il **100%** delle acque meteoriche (ricavate per un tempo di ritorno ventennale e per un tempo di pioggia di 30 minuti), pari a 668 m³, ma anche un ulteriore **21%**. (fig. 40-a)

La disposizione delle GSI, inoltre, è stata pensata affinché queste possano raccogliere le acque in punti strategici, ovvero dove più linee di deflusso concorrono, cercando di raccogliere l'acqua a monte dell'area, prima che questa invada via V. di Jasi. Questa disposizione, tenendo conto che le GSI hanno la capacità di infiltrare le acque raccolte nelle falde superficiali per distanze superiori ai 3 m dai fabbricati, permetterebbe di poter infiltrare circa **778 m³ (91%)** nelle falde così da poterle ricaricare, e solo **70 m³ (9%)** nei sistemi fognari esistenti. (fig. 40-b) Questo permetterebbe di ricreare, almeno in parte, il ciclo delle acque che nelle aree antropizzate è stato

disturbato dalla presenza dell'uomo che non permette lo svolgersi del suo corso naturale¹³ (Losco S.).

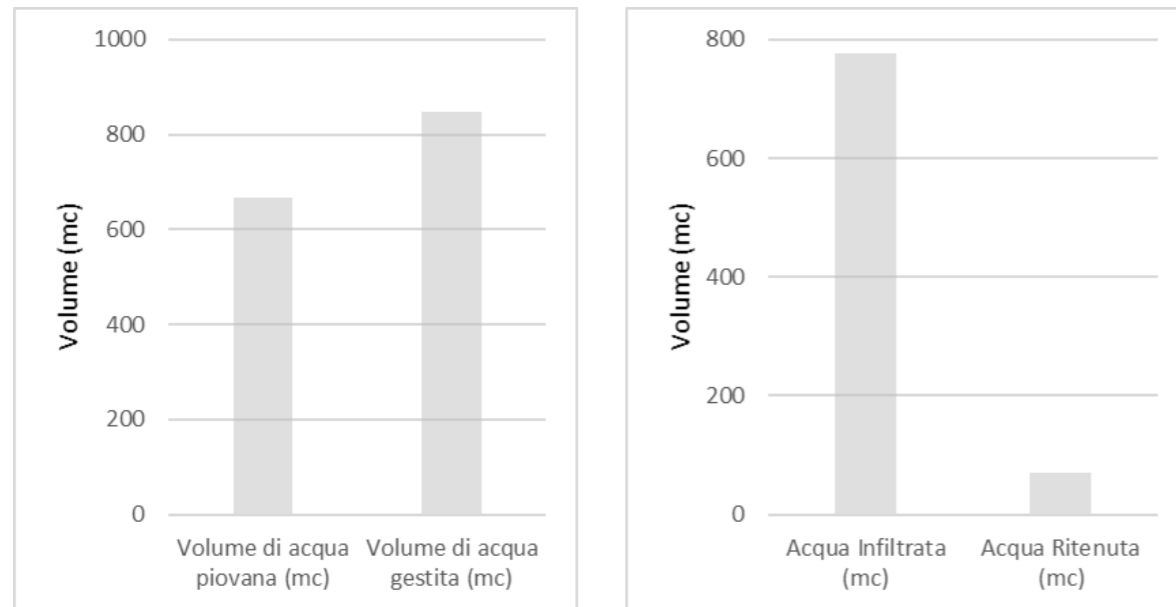


Figura 40 – a) Differenza tra il volume di acqua piovana e quello di acqua gestita attraverso le GSI. b) Volume di acqua infiltrata e ritenuta.

2.3.2 Nuove Aree Permeabili e Verde Urbano Fruibile

Il progetto dimostratore, oltre ad occuparsi della progettazione delle GSI, ha recepito la necessità di limitare la forte urbanizzazione dell'area, progettando altre aree verdi, come ad esempio il parco di quartiere tra Viale degli Artisti e Piazza A. Bernini. Attraverso la progettazione *green* dell'area, attraverso le GSI, nuove aree verdi, pavimentazioni drenanti, è stato possibile incrementare del **213%** le aree permeabili e ridurre quelle impermeabili del **20%**. (fig. 41-a) Questa tipologia di progettazione consentirebbe di incrementare, inoltre, l'indice di permeabilità delle aree pubbliche del **165%**. (fig. 41-b) Le nuove aree *green* hanno consentito di impiantare nuove specie arboree oltre a quelle esistenti, per un totale di **238** alberi tra le specie indicate nel §2.3 (fig. 41-c). Infine, dall'intero progetto dell'area si deduce un beneficio in termini di verde urbano fruibile incrementato del **165%**; questo significa che ogni abitante dell'area avrà a disposizione circa 2 m² di verde, rispetto ai 0.8 m² dello stato di fatto. (fig. 41-d)



Figura 40 – a) Differenza tra il volume di acqua piovana e quello di acqua gestita attraverso le GSI. b) Volume di acqua infiltrata e ritenuta.

¹³ Losco S., Macchia L., *Pianificazione Urbanistica e dimensione ambientale: il contributo del Water Sensitive Urban Design (WSUD) al miglioramento della sostenibilità urbana*

2.3.3 R.I.E e B.A.F.

I risultati ottenuti dal progetto dimostratore vengono rispecchiati nell'aumento degli indicatori di qualità urbana del R.I.E. e del B.A.F., in quanto, incrementando le superfici permeabili e, conseguentemente, diminuendo di quelle impermeabili, consentirebbe di incrementarli rispettivamente del **54%** e del **49%** (fig. 42), sicuramente inferiori ai valori minimi stabiliti dalle città che lo hanno introdotto, ma di notevole interesse ambientale nell'area di studio.

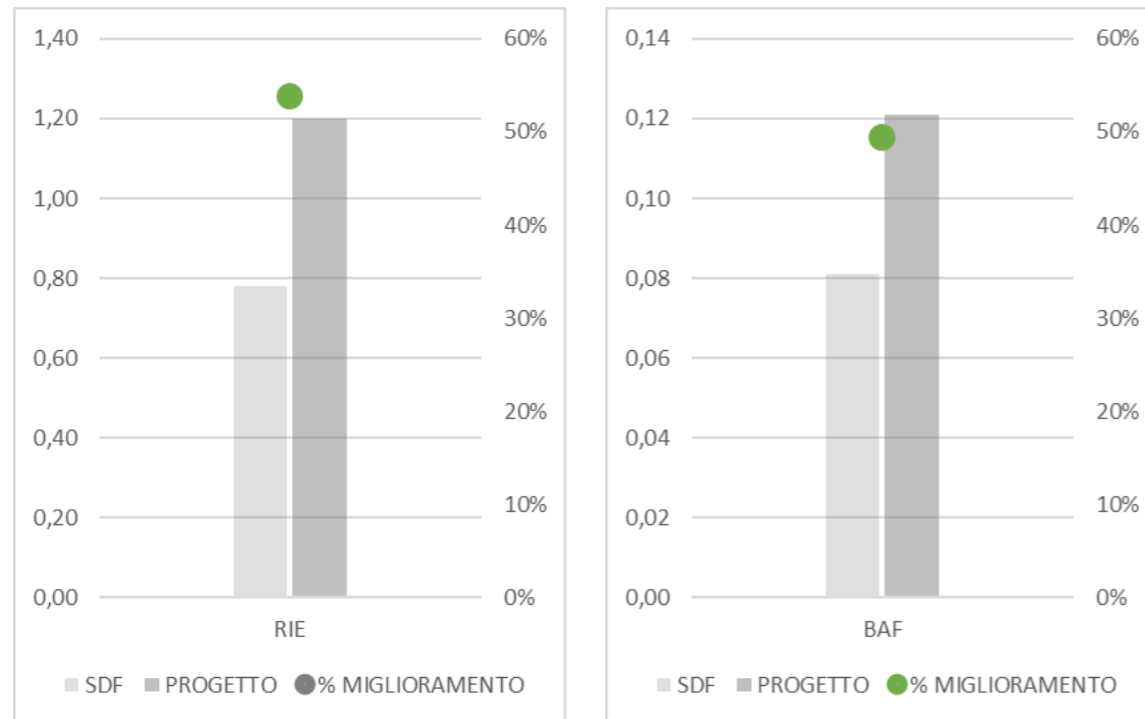
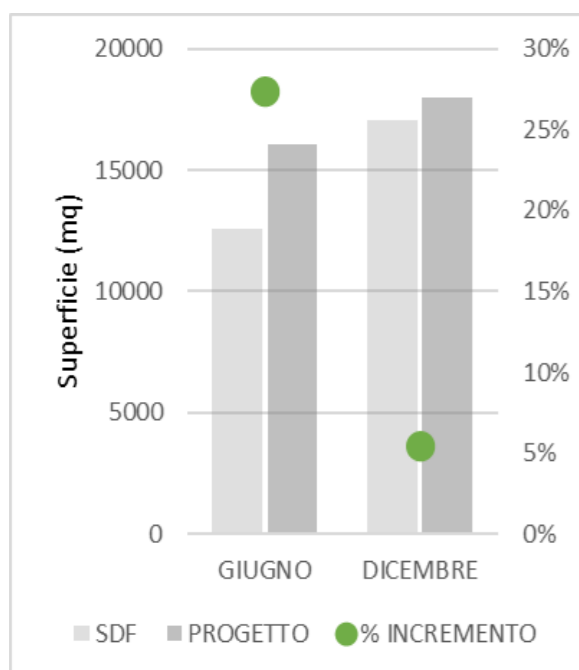


Figura 42 – Valori degli indicatori R.I.E. e B.A.F. dello stato di fatto e del progetto dimostratore.



2.3.4 Nuove Aree Ombreggiate

Attraverso la costruzione delle mappe solari dello SDF e del Progetto, è stato possibile ricavare le superfici delle nuove aree ombrate (fig. 43). Si dimostra che la piantumazione di nuovi alberi implica un incremento di nuove zone d'ombra, in maniera preponderante nel periodo estivo, che ridurranno (come si vedrà nel paragrafo seguente) i parametri climatici, quali ad esempio la temperatura; mentre nel periodo invernale l'incremento di zone ombrate ha degli effetti negativi, in quanto le ombre che si vanno a creare si sovrapporranno a quelle già esistenti, creando così un ambiente più freddo.

Figura 43 – Superfici ombreggiate con i rispettivi incrementi.

2.3.6 Piste Ciclabili

Per uniformare il progetto all'iniziativa "BICIPLAN", presentato nel 2020 dal comune di Aversa insieme al docente Armando Carteni (in linea con i "Sustainable Development Goals" dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile), è stata progettata una pista ciclabile nell'intera area di studio, in modo che tutti i punti dell'area siano accessibili. Essa avrà lo scopo di incrementare l'uso di bici all'interno dell'area, con il fine di ridurre l'uso delle autovetture che creano disagio ambientale all'interno di questa. Utilizzando già un percorso ciclabile esistente pari a circa 224 m, è stata incrementata del 206%, con una lunghezza finale di 685 m. (fig. 44)

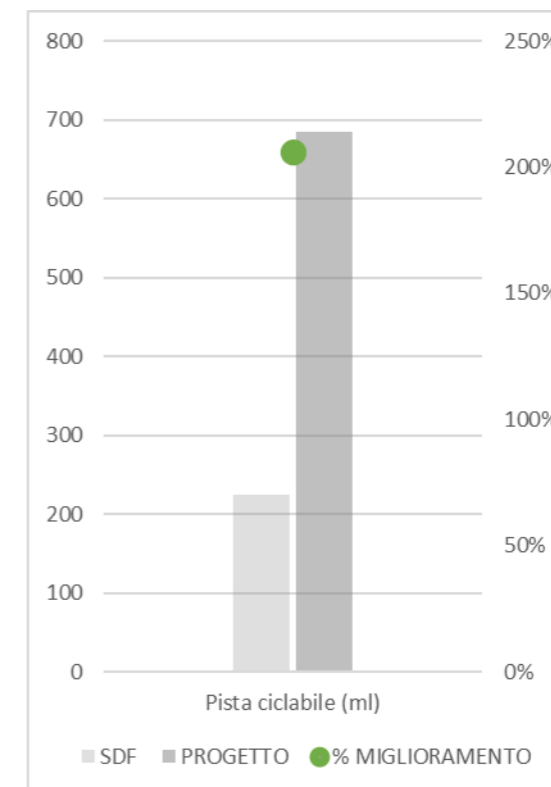


Figura 44 – Differenza tra la lunghezza della pista ciclabile dello stato di fatto e del progetto.

2.3.5 Parametri Climatici

Attraverso il software ENVI-Met è stato possibile verificare, in riferimento alle condizioni microclimatiche dell'area di studio, il presunto mutamento climatico dell'area. Come già detto nel **Cap. II**, sono state simulate le condizioni estive ed invernali, rispettivamente nelle date 31/07/2018 e 26/02/2019, grazie ai dati forniti dall'A.R.P.A.C. Dal modello ottenuto, si è ricavata una griglia di punti (fig. 44), attraverso la quale è stato possibile estrapolare i valori nelle ore 9.00, 12.00 e 15.00, e la media di questi valori per ogni ora stabilita ha permesso di valutare le condizioni microclimatiche media dell'area di studio. I parametri studiati nel dettaglio sono: Temperatura Potenziale, PMV, Temperatura Media Radiante, CO₂, Umidità Relativa, Temperatura Superficiale e Vento.

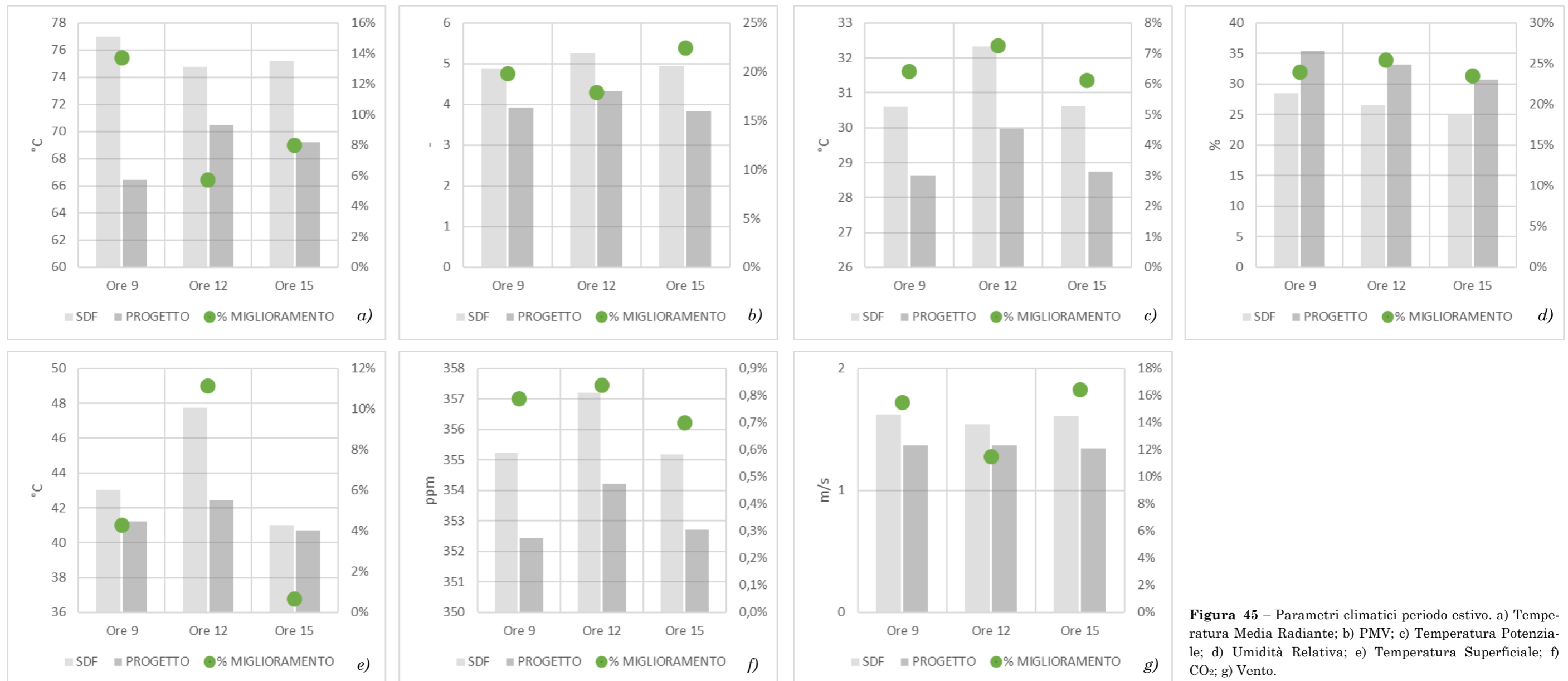


Figura 45 – Parametri climatici periodo estivo. a) Temperatura Media Radiante; b) PMV; c) Temperatura Potenziale; d) Umidità Relativa; e) Temperatura Superficiale; f) CO₂; g) Vento.

Dai risultati ottenuti nel periodo estivo (fig. 45) è possibile dimostrare che il progetto comporterebbe una riduzione significativa dei parametri, dovuta sia all'effetto benefico prodotto dall'incremento delle superfici verdi e di alberi, sia dal cambio della pavimentazione stradale con uno più chiaro, in modo da assorbire meno calore nelle ore diurne, sia dalle nuove ombre generate dagli alberi impiantati, riducendo quindi le aree soleggiate. Attraverso la lettura combinata dei grafici è possibile dimostrare come venga ridotto il rischio di isola di calore, deducibile dall'abbassamento della Temperatura Media Radiante rispettivamente del 14, 6 e 8%. Questo, indirettamente, comporta un minore malessere da parte dell'utente dedotto dal PMV, ridotto rispettivamente del 20, 18 e 22%; anche se questo non rientra nell'intervallo di benessere, è da notare che il beneficio prodotto si traduce in un migliore rapporto microclimatico del cittadino con l'ambiente circostante. Un altro parametro che rispecchia la riduzione di isola di calore è quello della Temperatura Superficiale che viene ridotta rispettivamente del 4, 11 e 1%. Infine, la quantità di CO₂ rispetto allo stato di fatto diminuisce in media circa dell'1%, dovuta solo alla vegetazione

incrementata, senza contare gli ulteriori benefici che si avrebbero dalla riduzione della circolazione veicolare in favore di quella *green*.

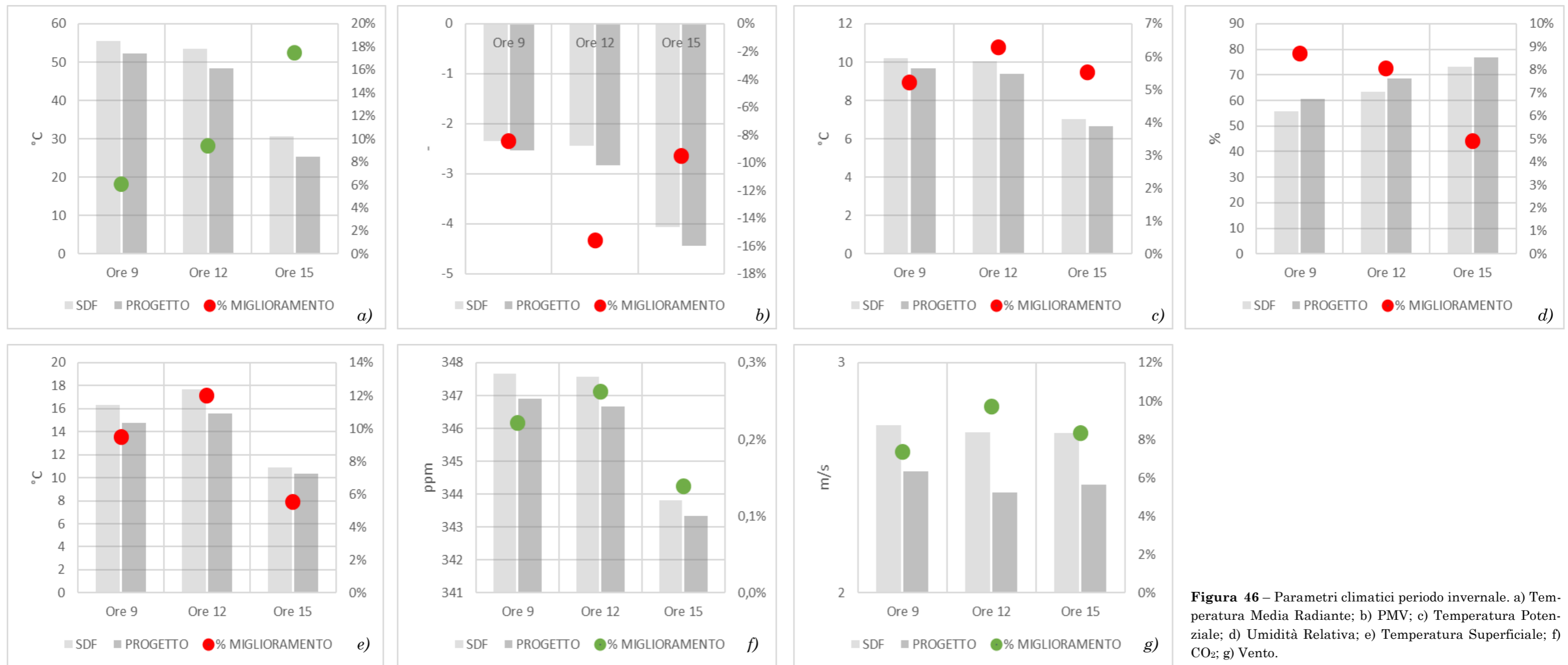


Figura 46 – Parametri climatici periodo invernale. a) Temperatura Media Radiante; b) PMV; c) Temperatura Potenziale; d) Umidità Relativa; e) Temperatura Superficiale; f) CO₂; g) Vento.

Se per il periodo estivo l'incremento di vegetazione produce effetti benefici, nel periodo invernale (fig. 46), gli alberi creano un *habitat* più umido e freddo, così come dimostrato dai risultati ottenuti. Infatti, il PMV decresce rispettivamente dell'8, 16 e 9 %, denotando una sensazione di freddo maggiore da parte dei cittadini. Infatti, il riscontro si ottiene con la Temperatura Potenziale che si riduce in media del 6%. Valori positivi del progetto, in inverno, sono quelli dovuti alla riduzione della CO₂, minore rispetto all'estate, e della velocità del vento ridotta rispettivamente del 7, 10 e 8 %. Soprattutto quest'ultimo parametro è di notevole interesse, in quanto la sua riduzione modererebbe, nelle aree urbanizzate come quella di studio, il rischio di caduta di alberi, cartelli e impalcature, cosa che avviene quasi ogni anno in molte città italiane proprio nei periodi invernali. Ancora, la sua riduzione, ridurrebbe la sensazione di freddo, nota come *wind chill*. Questo effetto è dovuto al fatto che il vento riesce a rimuovere la pellicola di aria tiepida a contatto con la pelle, sostituendola con l'aria esterna, decisamente più fredda.

In definitiva, i risultati ottenuti dal software ENVI-Met hanno consentito di dimostrare che

il progetto porterebbe vantaggi sulle condizioni microclimatiche dell'area, mostrando i risultati più soddisfacenti nell'abbattimento delle temperature, con il rispettivo PMV, nel periodo estivo; mentre in inverno i risultati maggiori risultano essere quelli per l'abbattimento della velocità del vento, riducendo quindi i rischi conseguenti ad esso. Inoltre, in inverno, anche se si è verificata una riduzione delle temperature, non dovrebbe essere motivo di disagio a differenza di quello che capita nel periodo estivo.

2.3.7 Analisi Costi-Benefici (ACB)

L'Analisi Costi-Benefici ha lo scopo di valutare la convenienza di un progetto considerando gli effetti monetari o monetizzabili come variazioni rispetto allo stato di fatto. I diversi impatti valutati dal progetto vengono sommati algebricamente, considerando i benefici con segno positivo, mentre i costi con segno negativo. Il periodo di analisi considerato per l'opera in questione è stabilito pari a **30** anni, attualizzando la differenza della somma all'attualità utilizzando un saggio di sconto r pari al **3%**¹⁴. Attraverso i prezzi aggiornati al 2021 della Regione Campania, e ai preventivi di GSI già effettuati dall'architetto Eduardo Cappelli in sede PRIN, sono stati effettuati dei preventivi di spesa per ogni opera da realizzare, tra i quali:

- Stormwater Rain Garden (Tesi);
- Stormwater Tree Trench (PRIN);
- Stormwater Bump-out (PRIN);
- Dreneage Pavement (Tesi);
- Pavimentazione Piazza A. Bernini (Tesi);
- Pista ciclabile (Tesi);
- Asfalto Fonoassorbente (Tesi).

I valori ricavati dai preventivi hanno consentito di ottenere il costo di ogni opera. (Tab. III)

Opera	Costo [€/m]	Quantità	Costo [€]
Stormwater Rain Garden	75.85 [€/mc]	513.80 mc	38.970,61
Stormwater Tree Trench	240.00 [€/mc]	225.83 mc	54.198,90
Stormwater Bump-out	200.00 [€/mc]	108.43 mc	21.686,70
Drenage Pavement	39.60 [€/mq]	1029.57 mq	40.770,97
Pavimentazione Piazza A. Bernini	61.61 [€/mq]	1463.40 mq	90.165,00
Pista ciclabile	207.75 [€/ml]	685.09 ml	142.326,00
Asfalto Fonoassorbente	22.51 [€/mq]	5085.88 mq	114.459,80

Tabella III – Valutazione dei costi per dimensione.

È facile dedurre che non tutti i benefici possono essere contabilizzati, in quanto molti di essi derivano da benefici sociali, benefici dovuti al comfort climatico, benefici dovuti alla raccolta di acqua meteorica, e così via. Per stimare i benefici dovuti al progetto dimostratore sono stati scelti: i benefici dovuti agli alberi e i benefici dovuti alla variazione di veicoli.

¹⁴ Per risolvere il problema di dover confrontare benefici e costi relativi ad anni differenti, si fa ricorso al *fattore di attualizzazione* $1/(1+r)^t$. Quindi, fissato un anno di riferimento (ad esempio l'anno 0), è possibile stimare il valore attuale del montante M_0 di una somma M_t spesa o incassata fra t anni con la relazione:

$$M_0 = \frac{M_t}{(1+r)^t}$$

Il tasso r viene in genere fissato da organi internazionali o da singole banche dei Paesi. Il valore più (UE) n. 207/2015).

2.3.7.1 Benefici dovuti agli alberi

Attraverso il software *i-Tree ECO*¹⁵ è stato possibile ricavare i benefici in termini monetari (Euro €) dovuti agli alberi. Il progetto dimostratore dell'area oggetto di studio conta 179 alberi (a fronte di 83 dello stato di fatto), tra cui le specie più comuni sono *Cercis Siliquastrum* (38%), *Tilia Platyphyllos* (15.6%) e *Pinus Pinea* (12.8%) (fig. 48).

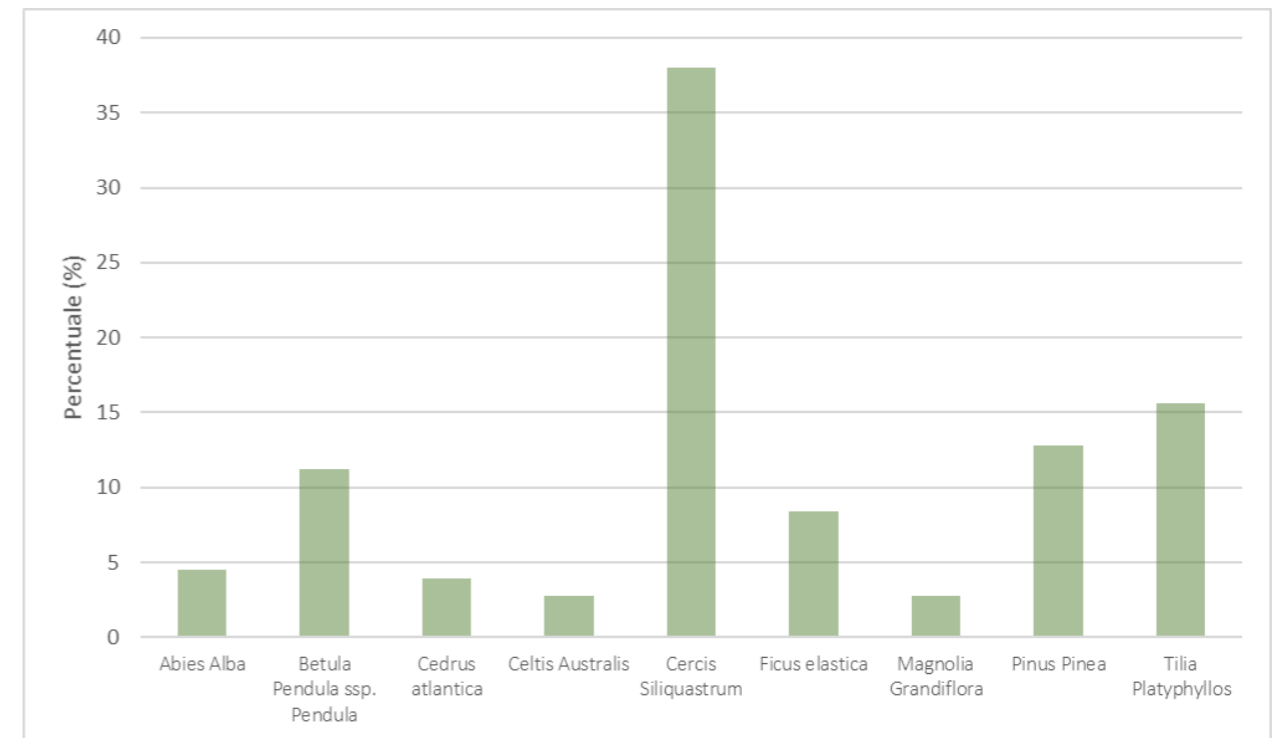


Figura 48 – Specie arboree componenti l'area "Aversa Sud" nello scenario di Progetto.

La densità complessiva degli alberi nell'area è di 47 alberi/ha che comparata alla densità di alcune città americane, ne deriva che l'area di studio presenta, nel progetto dimostratore, una densità di alberi pari a quella di una città americana (fig. 49).

Attraverso i prezzi di input dettati da *i-Tree*, di:

- energia elettrica: 0.21 €/m³;
- riscaldamento: 2.05 €/Therm;
- carbonio: 160.67 €/ton;
- deflussi d'acqua evitati: 1.902 €/m³,

vengono ricavati i benefici prodotti dagli alberi. (Tab. IV)

¹⁵ Il software *i-Tree* dell'*USDA Forest Service*, fornisce analisi forestali urbane e rurali e strumenti di valutazione dei benefici. Dai servizi ecosistemici locali forniti dagli alberi, gli utenti possono collegare le attività di gestione forestale con la qualità ambientale e la vivibilità della comunità. (Fonte: <https://www.itreetools.org/>)

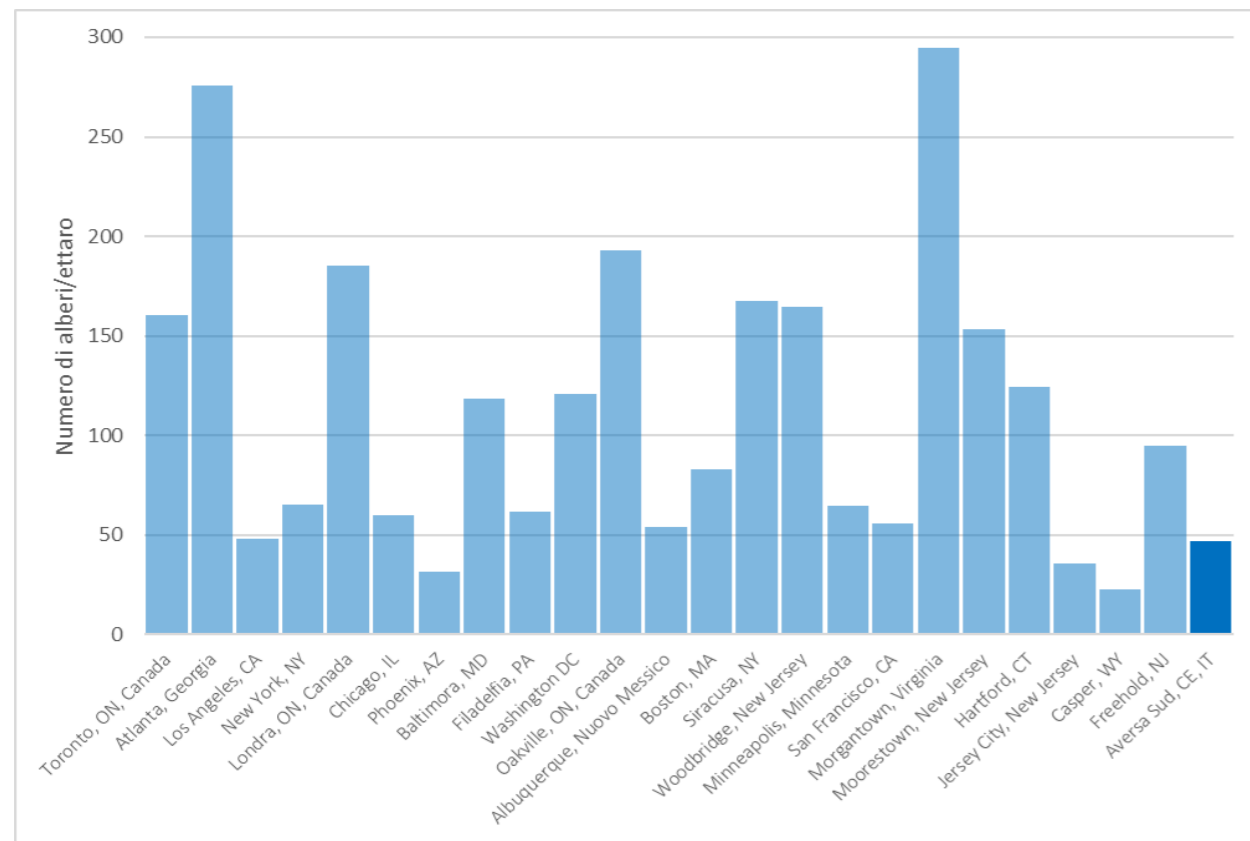


Figura 49 – Confronto delle foreste urbane effettuato attraverso il software i-Tree Eco.

Benefits of Trees by Species	Carbon Storage ¹⁵ [€]	Gross Carbon Sequestration ¹⁶ [€/yr]	Avoided Runoff ¹⁷ [€/yr]	Pollution Removal ¹⁸ [€/yr]	Structural Value [€]
Stato di Fatto	4.807,15	268,99	0,13	39,92	160.226,88
Progetto	9.580,80	569,16	0,23	64,11	358.793,14
% Miglioramento	49,83	52,74	43,48	37,73	55,34

Tabella IV – Benefici economici prodotti dalla vegetazione, suddivisa tra stato di fatto e progetto, con il rispettivo miglioramento in percentuale.

¹⁵ Carbon Storage: misura del carbonio che viene immagazzinato all'interno degli alberi. Rappresenta la quantità di carbonio che si accumula nelle parti in superficie e nel suolo della vegetazione legnosa.

¹⁶ Gross Carbon Sequestration: misura del carbonio (sotto forma di anidride carbonica) che viene rimosso dall'atmosfera dagli alberi.

¹⁷ Avoided Runoff: misura del deflusso delle acque piovane che viene evitato grazie all'intercettazione delle precipitazioni da parte degli alberi, che trattengono parzialmente le precipitazioni sulle loro foglie, riversando al suolo il volume in eccesso. Viene stimata confrontando i deflussi superficiali in presenza degli alberi e quelli che si verificherebbero in loro assenza.

¹⁸ Pollution Removal: misura dell'inquinamento atmosferico che viene rimosso dall'atmosfera dagli alberi. Viene calcolata per il biossido di azoto (NO₂), il biossido di zolfo (SO₂), l'ozono (O₃), il monossido di carbonio (CO) e il particolato inferiore a 2.5 micron (PM_{2.5}). Il valore monetario è stimato in base ai danni economici associati all'aumento delle emissioni inquinanti e all'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana.

2.3.7.2 Benefici dovuti alla variazione di veicoli

Dalla teoria dei sistemi di trasporto è stato possibile ricavare i benefici ottenuti dalla variazione dei veicoli nel progetto. È stato adottato il concetto di *capacità*, ovvero il flusso massimo di utenti o veicoli che possono utilizzare un elemento dell'offerta di trasporto in un dato intervallo di tempo. Bisogna fare attenzione a non commettere l'errore di non poter considerare il reale flusso veicolare dell'area, ma solo quello massimo. La relazione utilizzata è quella proposta dall'HCM, in cui il flusso di saturazione si ricava in base alla scelta opportuna dei gruppi di corsie. Il metodo si sintetizza nella espressione:

$$S = S_0 \cdot N \cdot F_w \cdot F_{HV} \cdot F_g \cdot F_p \cdot F_{bb} \cdot F_a, \quad [1]$$

dove:

- S è il flusso di saturazione per lo specifico gruppo di corsie, espresso come flusso totale di tutte le corsie de gruppo, in condizioni normali, in veicoli per ora di verde;
- S₀ è il flusso di saturazione ideale per corsia, di solito pari a 1900 veic/ora;
- N è il numero di corsie del gruppo;
- F_w è il fattore di correzione per la larghezza della corsia;
- F_{HV} è il fattore di correzione per la presenza di veicoli pesanti nel flusso veicolare;
- F_g è il fattore di correzione per la pendenza dell'accesso;
- F_p è il fattore di correzione per la presenza di una corsia di sosta adiacente al gruppo di corsie e per la relativa attività di sosta;
- F_{bb} è il fattore di correzione per la presenza di una fermata di autobus nell'area d'intersezione;
- F_a è il fattore di correzione per la tipologia di area in cui si trova l'intersezione.

Nella Tab. V vengono riportati i primi sei fattori di correzione. In base all'area di studio, le strade considerate sono: Via V. di Jasi, Via L. da Vinci, Viale degli Artisti, Piazza G.L. Bernini, Via Giotto, Via G. de Chirico. Vengono riportate nella Tab. VI e VII, le caratteristiche geometriche e i coefficienti correttivi delle strade appartenenti all'area di progetto. Ottenuti i dati, utilizzando la [1], si sono ricavati i flussi di saturazione per ogni strada (fig. 50).

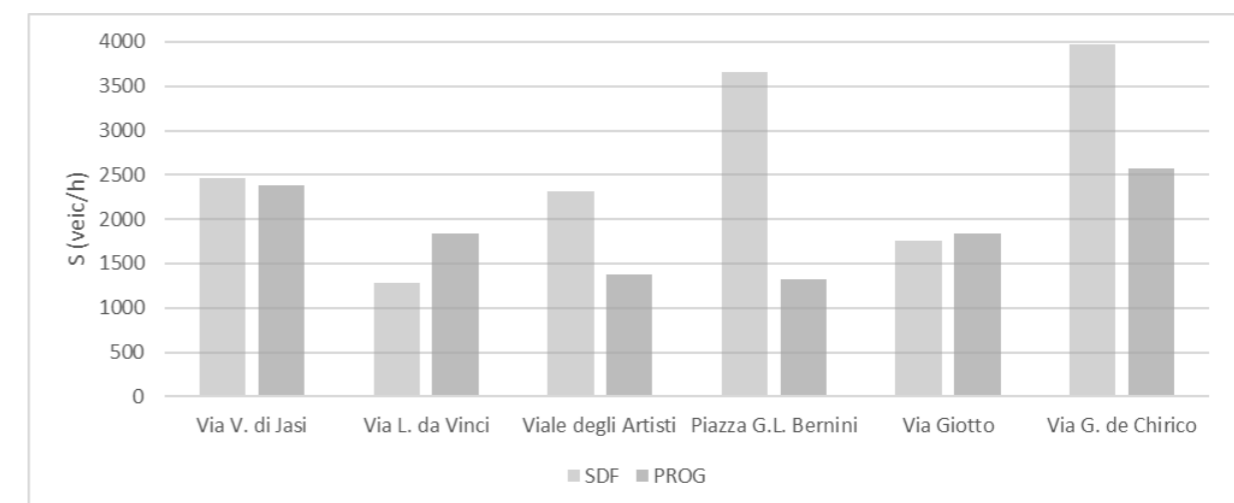


Figura 50 – Flussi di saturazione tra stato di fatto e progetto nelle strade dell'area di studio.

FATTORE DI CORREZIONE PER LA LARGHEZZA MEDIA DELLA CORSIA F_w									
Larghezza media della corsia, W (FT)	8	9	10	11	12	13	14	15	16
F_w	0.867	0.900	0.933	0.967	1.000	1.033	0.067	1.100	1.133
FATTORE DI CORREZIONE PER VEICOLI PESANTI F_{HW}									
Percentuale di veicoli pesanti (%)	0	2	4	6	8	10	15	20	100
F_{HW}	1.000	0.980	0.962	0.943	0.926	0.909	0.870	0.833	0.500
FATTORE DI CORREZIONE PER LA PENDENZA STRADALE F_g									
Pendenza (%)	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6	+8	≥ 10
F_g	1.030	1.020	1.010	1.000	0.990	0.980	0.970	0.960	0.950
FATTORE DI CORREZIONE PER LA SOSTA F_p									
F_p	N. di manovre di parcheggio per ora								
N. di corsie per gruppo	Sosta vietata	0	10	20	30	≥ 40			
1	1.000	0.900	0.850	0.800	0.750	0.700			
2	1.000	0.950	0.925	0.900	0.875	0.850			
3 o più	1.000	0.967	0.950	0.933	0.917	0.900			
FATTORE DI CORREZIONE PER FERMATE DI AUTOBUS F_{bb}									
F_{bb}	N. di fermate degli autobus per ora								
N. di corsie per gruppo	0	10	20	30	≥ 40				
1	1.000	0.960	0.920	0.880	0.840				
2	1.000	0.980	0.960	0.940	0.920				
3 o più	1.000	0.987	0.973	0.960	0.947				
FATTORE DI CORREZIONE PER TIPO DI AREA F_a									
Tipo di area	F_a								
CBD (Center Business District)	0.900								
Tutte le altre aree	1.000								

Tabella V – Fattori di correzione per il calcolo dei flussi di saturazione nel metodo dell'HCM.

Strada	Tratto	N. di corsie per senso di marcia		N. sensi di marcia		Larghezza corsia (m)		Lunghezza (m)		Parcheggi	
		SDF	PROG	SDF	PROG	SDF	PROG	SDF	PROG	SDF	PROG
Via V. di Jasi	-	1	1	2	2	3.50	3.00	280.00	280.00	SI	SI
Via L. da Vinci	-	1	1	1	1	3.50	3.50	280.00	280.00	SI	NO
Viale degli Artisti	-	1	1	2	1	3.50	4.00	190.00	190.00	SI	SI
Piazza G. L. Bernini	I	1	-	2	-	3.50	-	100.00	-	SI	-
	II	1	1	1	1	3.00	4.00	80.00	80.00	SI	SI
Via Giotto	-	2	1	1	1	3.50	3.50	90.00	90.00	NO	NO
Via G. de Chirico	I	1	1	2	1	3.50	3.50	115.00	115.00	SI	SI
	II	2	2	1	1	3.50	3.50	50.00	50.00	SI	SI

Tabella VI – Caratteristiche delle strade dello SDF e del Progetto.

Strada	Tratto	F_w		F_{HW}		F_g		F_p		F_{bb}		F_a	
		SDF	PRG	SDF	PRG	SDF	PRG	SDF	PRG	SDF	PRG	SDF	PRG
Via V. di Jasi	-	0.96	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.96	0.96	1.00	1.00
Via L. da Vinci	-	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Viale degli Artisti	-	0.96	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.96	0.96	1.00	1.00
Piazza G. L. Bernini	I	0.96	0	1.00	0	1.00	0	0.70	0	0.96	0	1.00	0
	II	0.93	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.96	0.96	1.00	1.00
Via Giotto	-	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	1.00	1.00
Via G. de Chirico	I	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.96	0.96	1.00	1.00
	II	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.70	0.98	0.96	1.00	1.00

Tabella VII – Coefficienti correttivi delle strade dell'area di progetto.

I benefici ottenibili dalla variazione dei percorsi veicolari sono:

- gas climalteranti;
- Inquinamento dell'aria;
- emissioni sonore.

Per stimare gli effetti sul progetto si sono moltiplicate le variazioni di veicoli per km prodotte dal progetto per un costo marginale, pari a:

- gas climalteranti 0.0181 €/veickm;
- Inquinamento dell'aria 0.0065 €/veickm;
- emissioni sonore 0.0090 €/veickm.

Si sono quindi ottenuti i benefici per ogni anno ed attualizzandoli tramite il fattore di attualizzazione, si sono ricavati i benefici totali all'anno 0 (fig. 51).

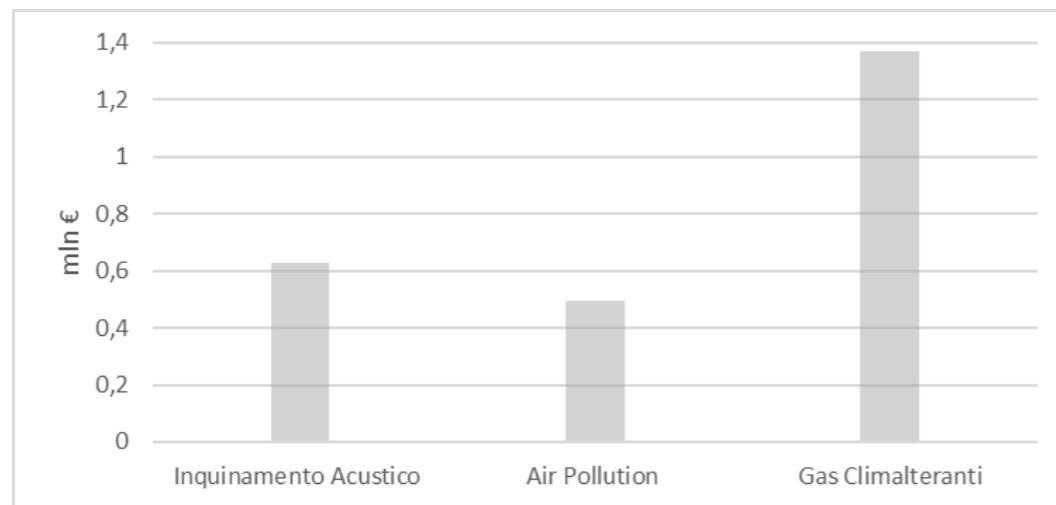


Figura 51 – Benefici attualizzati ottenuti dal progetto dimostratore.

2.3.7.3 Risultati dell'analisi ACB: indicatori di redditività economico-sociale

Una volta che sono stati definiti e quantificati i costi e i benefici in termini monetari del progetto dimostratore, sono stati ricavati degli opportuni indicatori di prestazione, quali:

- *Valore Attuale Netto (VAN)* che riporta all'anno iniziale i diversi effetti relativi al progetto i , calcolati per il periodo di analisi T come:

$$VAN_i(r) = \sum_{t=0}^T \left(\frac{\sum_j B_j^t - \sum_j C_j^t}{(1+r)^t} \right); \quad [2]$$

- *Rapporto benefici/costi (B_j/C_j)* definito come il rapporto in valore assoluto tra i benefici ed i costi attualizzati all'anno iniziale:

$$\frac{B_j^t}{C_j^t} = \frac{\sum_{i=0}^T \left| \frac{\sum_j B_j^t}{(1+r)^t} \right|}{\sum_{i=0}^T \left| \frac{\sum_j C_j^t}{(1+r)^t} \right|}; \quad [3]$$

- *PayBack Period (PBP_i)* attualizzato, ovvero il numero minimo di anni oltre il quale si verifica un VAN positivo, ovvero un ritorno di investimento:

$$PBP_i = T_{min}; \quad VAN_i(r) > 0. \quad [4]$$

Ottenuti i costi e i benefici nell'arco temporale di 30 anni, si sono ricavati gli indicatori di prestazione che hanno condotto alle seguenti considerazioni:

- il VAN è pari a **1,27** milioni di €. Il VAN esprime la ricchezza incrementale creata o distrutta dal progetto. Il progetto dimostratore presentato comporta un VAN positivo, indicando quindi la creazione di un valore monetario (fig. 52);
- il B/C è pari a **4.10**. Il valore del rapporto benefici/costi è un utile indicatore della convenienza di un investimento, in quanto se questo è minore di 1, significa che i costi sono maggiori dei benefici, denotando quindi un investimento non conveniente. Nel caso in esame il rapporto è maggiore di 1, definendo l'investimento ipotizzato conveniente;
- il *PayBack Period* è pari a **5** anni. Questo è l'indicatore più semplice ed intuitivo in quanto risponde alla domanda: "fra quanto tempo recupererò dall'investimento?¹⁹". Il PBP del progetto ha un tempo di ritorno non molto lontano, per cui il rischio insito nell'investimento si può considerare esiguo.

L'analisi costi-benefici comporta degli errori, quali non sommabilità degli effetti e limitazione ai soli effetti monetari, risolvibili attraverso un'Analisi Multicriteri²⁰, che però, nel contesto della Tesi, non verrà effettuata.

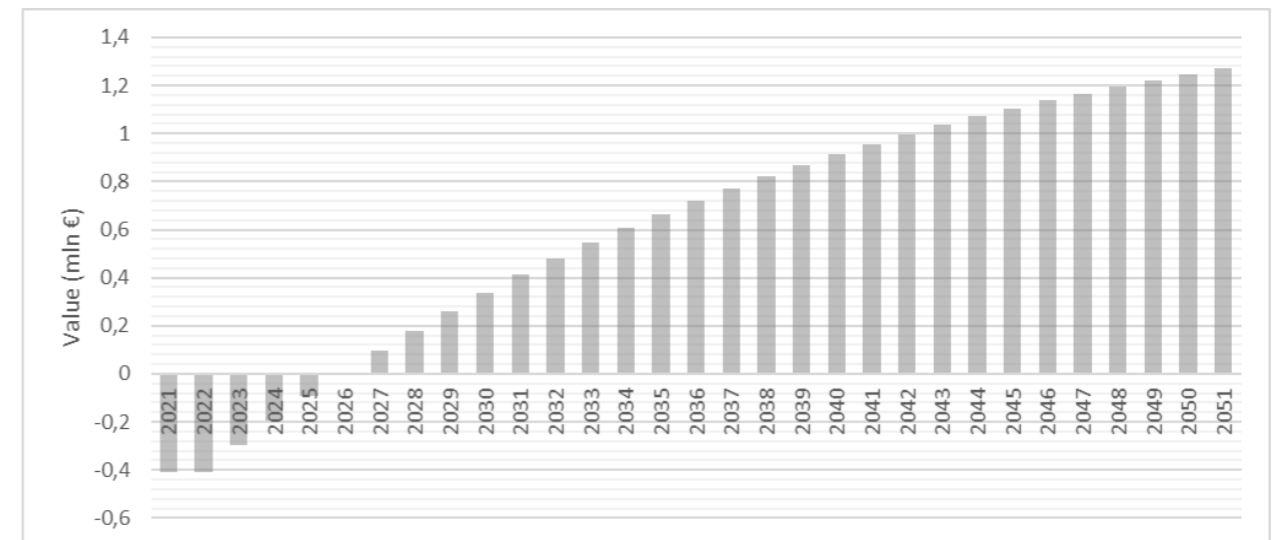


Figura 52 – Andamento del VAN. Si evidenzia che i ricavi si ottengono a partire dal 2026, con PayBack Period pari a 5 anni.

¹⁹ A. Carteni (2016), Processi decisionali e Pianificazione dei trasporti, Lulu, p. 260.

²⁰ L'Analisi Multi-criteri (AMC) stabilisce le preferenze tra più alternative progettuali sulla base di come ciascuna di esse impatta sull'insieme di obiettivi che il decisore ha identificato e, per i quali, ha stabilito dei criteri di valutazione e confronto. A differenza dell'ABC, questa analisi non richiede che tutti gli impatti di un intervento siano espressi in termini monetari, bensì permette di misurare ciascun impatto del progetto utilizzando la scala e l'unità di misura più appropriata.

3. La città e l'ambiente: verso una pianificazione sensibile all'acqua

Il territorio è un immenso deposito di segni lasciati da chi ci ha preceduto. Nelle parole di André Corboz, il territorio è un palinsesto: le diverse generazioni vi hanno scritto, corretto, cancellato e aggiunto (Corboz, 1983). Il territorio e le città che si osservano oggi sono frutto di un lungo processo di selezione in cui una casa, una strada, un ponte, un bosco, possono essere trasformati o conservati così come sono e dove sono. Questo processo di trasformazione è dovuto al continuo bisogno di nuove case, di strade più larghe, di ospedali, di scuole, determinato da una crescente crescita demografica, e che non sempre questo processo avviene sempre e in ogni luogo in modo razionale e che avviene sempre attraverso l'interazione di una pluralità di soggetti liberi da tabù e costrizioni²¹ (Secchi, 2000). Questa mentalità di pura "espansione" era l'esigenza primaria della pianificazione fino alla fine del XX secolo, la quale ha condotto il modello di città moderna in una profonda crisi. Una crisi dovuta alla difficoltà di "usare" città congestionate dal traffico, sommerse da auto parcheggiate al di fuori degli spazi per la sosta, carenti di servizi pubblici, carenti di spazi verdi, ed economicamente sature ossia non più in grado di porre i presupposti per una crescita economica ed occupazionale. Si è quindi preso atto che la continua espansione urbana non sia il problema centrale della pianificazione, dato che la popolazione non cresce e c'è addirittura un esubero di costruzioni rispetto alle attuali necessità della popolazione e delle attività. Il problema si è spostato infatti sul tema della *riqualificazione*, non pensata come interventi su singoli edifici, ma intesa come un'operazione che richiede di ripensare la città nella sua totalità, sposando l'occhio dalla scala di dettaglio all'intera compagine urbana. Inoltre, a pari passo con la riqualificazione, nasce l'esigenza di porre al centro della pianificazione la valorizzazione e la *tutela ambientale*. Progettare oggi una città significa affrontare sia la questione urbana che ambientale. In Italia, è ancora forte l'idea che il miglioramento ambientale è determinabile solo se si garantiscono determinate condizioni di sviluppo economico e se si realizzano e si mantengono determinati livelli di investimenti, di accumulazione e di occupazione²² (Salzano, 2003). Questa affermazione è divenuta falsa e ribaltata dalla Comunità Economica Europea: *la qualità dell'ambiente è una precondizione di base per lo sviluppo economico*. È proprio del Diritto dell'Ambiente il concetto di *sviluppo sostenibile*²³ definito da Gro Harlem Brundtland, nel rapporto della Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo dell'Onu, come uno "*sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri*". Emerge quindi la necessità di un'impronta ecologica delle città, costruendo quindi *città sostenibili*, tali da "*soddisfare i bisogni del presente accrescendo la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri*" (Salzano, 2003). È proprio in base a questi tre concetti che si può racchiudere la tecnologia delle *green street*, proposta in questo lavoro di tesi: *riqualificazione, ambiente, sostenibilità*.

In molte parti del mondo, come ad esempio ad Adelaide in Australia, la tecnologia delle *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) sono diventate parte integrante della pianificazione territoriale. Infatti, i pianificatori del governo locale hanno lo scopo di proteggere la qualità delle acque

assicurando che il terreno da sviluppare sia in grado di sostenere lo sviluppo urbano seguendo i principi del WSUD, affinché siano ridotte al minimo l'estensione delle superfici impermeabili e fornire uno spazio adeguato alla gestione delle acque piovane. Inoltre, l'infrastruttura progettata deve essere progettata in modo che l'impatto delle acque piovane sugli ambienti ricettori sia minimo. La strategia di pianificazione per l'Australia Meridionale ha introdotto "il piano trentennale per la Grande Adelaide" che comprende obiettivi, quali ad esempio:

- raggiungere l'indipendenza dalla rete idrica per nuovi spazi pubblici attraverso le tecniche WSUD;
- ottenere alternative all'acqua di rete per uso esterno attraverso tecniche WSUD in tutti i nuovi sviluppi *Green field* soggetti a piani strutturali e requisiti del distretto dopo il 2011;
- ridurre la domanda di approvvigionamento idrico di rete dal nuovo sviluppo attraverso l'introduzione di un design urbano sensibile all'acqua;
- piano statale di gestione delle risorse naturali, che consente la gestione sostenibile delle risorse naturali dello Stato comprese quelle idriche;
- piani di gestione delle acque piovane;
- piano infrastrutturale statale per l'Australia Meridionale²⁴.

Esempi come quelli di Adelaide, oppure quelli per cui ci si è riferiti in questo lavoro possono essere usati come "*trampolini di lancio*" per un *upgrade* della pianificazione urbanistica. La domanda che ci si pone, infatti, è come le *Green Stormwater* possono diventare parte della pianificazione territoriale italiana. In Italia, ogni anno, si ripresentano eventi meteorici violenti che provocano alluvioni e inondazioni in varie parti del territorio. Come detto più volte in questo lavoro, i cambiamenti climatici sono la fonte principale di questi eventi stocastici per i quali ogni anno si registrano morti, raccolti distrutti, danni ad infrastrutture e al territorio. D'altra parte, questi eventi sono accentuati dalla forte urbanizzazione che riveste il territorio italiano. Già in passato, dopo i disastri della frana Agrigento²⁵ (1964) e delle alluvioni di Firenze e Venezia²⁶ (1966), fu necessaria una riforma urbanistica. Quindi, per porre un freno alla edificazione incontrollata e per adeguare la legge urbanistica del 1942 alle nuove esigenze, fu approvata nel 1967

²⁴ <https://www.watersensitivesa.com/resources/publications-2/plans-strategies/>

²⁵ I risultati della commissione di inchiesta, presieduta da Michele Martuscelli dichiarò che la frana fu dovuta ad un sovraccarico del volume edificato. Nel Luglio del 1966 un'improvvisa frana, causata da un terremoto, distrusse gran parte dell'abitato di Agrigento, causata dall'enorme sovraccarico edilizio, derivante da edilizia costruita selvaggiamente negli ultimi anni a dispetto di tutte le norme urbanistiche ed edilizie. La relazione consegnata al Ministro Giacomo Mancini si conclude con le parole: "*Gli uomini di Agrigento, hanno errato, fortemente e pervicacemente, sotto il profilo della condotta amministrativa e delle prestazioni tecniche, nella veste di responsabili della cosa pubblica e come privati operatori. Il danno di questa condotta, intessuta di colpe coscientemente volute, di atti di prevaricazione compiuti e subiti, di arrogante esercizio del potere discrezionale, di spregio della condotta democratica, è incalcolabile per la città di Agrigento*".

²⁶ A Venezia, il 4 novembre 1966 l'acqua alta raggiunse il livello di 194 cm, ad oggi mai più eguagliato. I danni più rilevanti si ebbero tuttavia in Toscana, dove il fiume Ombrone inondò il Grossetano causando migliaia di sfollati. Nel bacino del fiume Arno, in sole 24 ore, diversi pluviometri registrarono valori vicini o superiori ai 200mm di pioggia, di norma corrispondenti alla media di tutto il mese di novembre. Nella regione si contarono 47 morti, centinaia di feriti e 46.000 tra sfollati e senzatetto. A Firenze la piena dell'Arno arrivò la mattina del 4 novembre. Le acque superarono le spallette dei lungarni e sommersero i quartieri storici, raggiungendo in alcuni punti i 5 metri di altezza e formando un lago di circa 40 kmq di superficie. In città i morti furono 19, altrettanti quelli nelle zone limitrofe. Il bilancio dei danni fu aggravato dalla perdita del patrimonio artistico e culturale. L'acqua e il fango, carichi della nafta raccolta dai diversi serbatoi cittadini, raggiunsero gli Uffizi, la Biblioteca Nazionale, Santa Croce, il battistero di San Giovanni, i musei Archeologico e del Bargello, la Biblioteca Nazionale. (Fonte: polaris.irpi.cnr.it/novembre-1966/)

²¹ Secchi B. (2000), *Prima lezione di urbanistica*, Editori Laterza

²² Salzano E. (2003), *Fondamenti di urbanistica*, Editori Laterza

²³ Lo sviluppo sostenibile è una forma di sviluppo economico compatibile con la salvaguardia dell'ambiente per le generazioni future, che ha dato vita all'economia sostenibile.

n. 765 la legge Ponte²⁷, la quale obbligava la pubblica amministrazione non solo ad approvare i piani comunali, prevenendo e punendo l'abusivismo²⁸. Tra le innovazioni introdotte dalla legge c'è quella degli Standard, che impongono al pianificatore di disporre una superficie minima riservata alla collettività. Tra gli standard troveranno sicuramente posto le GSI, in quanto essendo dispositivi di raccolta delle acque formate da vegetazione, e che possono essere inserite in contesti urbani vari, potrebbero rientrare nei 9 mq minimi imposti per *spazi pubblici attrezzati a parco e per il gioco e lo sport*.

Viste le capacità tecnologiche e i miglioramenti in termini di qualità ambientale che le GSI produrrebbero all'interno di un assetto urbano, è pensabile che queste possano essere inserite nel contesto del Piano Urbanistico Comunale. La tecnologia delle *green street* all'interno del PUC può essere inserita nel progetto della rete ecologica comunale²⁹ con l'obiettivo di mantenere il più possibile vitale ed efficace la rete esistente, intervenendo dove necessario per rimediare a impoverimenti avvenuti o per recuperare connessioni che sono state interrotte in seguito alle modifiche del territorio. Attraverso le GSI la rete ecologica si arricchirebbe di altri significati, in quanto si verrebbero a creare spazi aperti naturali e seminaturali collegati tra loro a formare una sorta di sistema organico, che rappresenterebbero un'opportunità fondamentale per conoscere e vivere il proprio territorio a partire da una rete di percorsi che ne mettano in luce gli aspetti ambientali, paesaggistici e storico-culturali. Per strutturare, in generale, il progetto di rete ecologica comunale risulta inoltre determinante delineare chiaramente il possibile ruolo che essa può svolgere all'interno di una scala territoriale più ampia. Solo se inquadrata a livello provinciale e regionale, infatti, la rete assume un significato compiuto, in quanto le scelte fatte in ambito comunale possono a loro volta avere ricadute positive su un sistema ambientale più vasto. Una volta identificati i limiti della trasformabilità del territorio (piano strutturale) attraverso l'introduzione nella rete ecologica comunale delle *green street*, il passo successivo sarà quello di identificare nel piano operativo l'effettiva conformazione e destinazione d'uso dei suoli nei quali verranno installati i dispositivi.

Sarà quindi indispensabile fornire ai progettisti un manuale, come quelli dei WSUD e delle GSI, con lo scopo di guidare i tecnici a soluzioni adatte al contesto urbano considerato. Questo manuale sarà in un primo tempo frutto della ricerca accademica, basandosi sull'esempio di quelli già esistenti in Australia e negli USA, e in un secondo tempo aggiornati in base ai dati che saranno forniti dai comuni che adotteranno questa tecnologia.

In definitiva sarebbe interessante studiare gli effetti che le *Green Stormwater Infrastructure* produrrebbero su un sistema urbanistico, quale il territorio comunale. Inoltre, vista la preoccupante questione di gestione delle risorse idriche, occorrerà quanto prima introdurre strategie in grado di conservare ed utilizzare al meglio questa preziosa risorsa³⁰, i cui dispositivi "green"

forniscono valide soluzioni per la pianificazione e progettazione di un sistema di drenaggio sostenibile per la raccolta delle acque piovane.

²⁷ Successivamente, fu approvato il D.M. 2 aprile 1968, n.1444, il quale introdusse gli Standard Urbanistici ed Edilizi e le Zone Territoriali Omogenee.

²⁸ D'Angelo G. (2006), *Diritto dell'edilizia e dell'urbanistica*, CEDAM

²⁹ L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) definisce la rete ecologica come un sistema interconnesso di habitat, di cui salvaguardare la biodiversità, ponendo quindi attenzione alle specie animali e vegetali potenzialmente minacciate.

³⁰ Losco S., Macchia L., *Pianificazione Urbanistica e dimensione ambientale: il contributo del Water Sensitive Urban Design (WSUD) al miglioramento della sostenibilità urbana*.

Bibliografia

- Bosco A., Rinaldi S., Valente R. (2012), *Strumenti di progetto per il microlandscape urbano*, Firenze, Alinea Editrice
- Carteni A. (2016), *Processi decisionali e Pianificazione dei trasporti*, Lulu Enterprise, U.S.A.
- Cascetta E. (2006), *Modelli per i sistemi di trasporto: Teoria e applicazioni*, UTET.
- Colombo L. (1998), *Il metodo in urbanistica. Tradizione e rinnovamento nel piano*, Masson
- Cozzolino S., Nardi L., Valente R. (2014), *Teorie di progetto ambientale attraverso l'Europa*, Clean Edizioni
- D'Ambrosio V., Leone M.F. (2017), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. Strumenti e indirizzi per la riduzione*, Napoli, Clean Editori
- D'Angelo G. (2006), *Diritto dell'edilizia e dell'urbanistica*, Cedam
- Le Corbusier (1946), *Maniera di pensare l'urbanistica*, Editori Laterza, Bari
- Losasso M., Lucarelli M. T., Rigillo M., Valente R. (2020), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore
- Losco S., Macchia L., *Pianificazione Urbanistica e dimensione ambientale: il contributo del Water Sensitive Urban Design (WSUD) al miglioramento della sostenibilità urbana*
- Magliocco A., Perini K. (2014), *La vegetazione in ambiente urbano: comfort e riduzione del fenomeno isola di calore*, TECHNE.
- Norberg-Schulz C. (1979), *Genius Loci: Paesaggio Ambiente Architettura*, Milano, Electa
- Regione Lombardia, L.R. 4/2016 Art. 7
- Salzano E. (2003), *Fondamenti di urbanistica*, Editori Laterza, Bari
- Secchi B. (2000), *Prima lezione di urbanistica*, Editori Laterza, Bari
- Valente R. (2006), *La riqualificazione delle aree dismesse. Conversazioni sull'ecosistema urbano*, Napoli, Liguori Editori
- Valente R. (2010), *Environmental design*, Napoli, Liguori Editore
- Urban Street Stormwater Guide, National Association of City Transportation Officials

Sitografia

- <https://www.epa.gov/green-infrastructure/benefits-green-infrastructure>
- <https://www.mit.gov.it/mit/site.php?p=normativa&o=vd&id=223>
- <https://wsimag.com/it/cultura/57075-la-piazza>
- <https://www.envi-met.com/>
- https://envi-met.info/doku.php?id=apps:biomet_pmv
- https://envi-met.info/doku.php?id=intro:modelconcept#envi-met_model_architecture
- https://envi-met.info/doku.php?id=apps:biomet_pmv
- <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>
- https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf
- https://www.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0015/11364/WSUD_chapter_1.pdf
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/biodiversita-1/reti-ecologiche-e-pianificazione-territoriale/reti-ecologiche-a-scala-locale-apat-2003/cose-una-rete-ecologica>
- https://www.epa.sa.gov.au/page/view_by_id/4422
- <https://www.environment.sa.gov.au/topics/green-adelaide/our-priorities/biodiversity-sensitive-WSUD>

Conclusioni

Al fine di poter gestire il volume di acque meteoriche nell'area considerata in questo lavoro di tesi, sono state progettati 1615 m² di GSI, che consentirebbero di gestire oltre il 100% di volume di acqua piovana, riuscendo quindi a soddisfare tempi di ritorno più lunghi, e per la posizione strategica scelta, riuscirebbero ad infiltrare circa il 90% di acqua nelle falde superficiali, mentre solo il 10% andrebbe in fogna. Nello specifico, accanto ai risultati ottenuti nella gestione delle acque meteoriche, nell'aumento dei percorsi ciclabili, nell'incremento degli indicatori di qualità ecologia urbana R.I.E. e B.A.F., nell'aumento del verde urbano fruibile, si registrano valori microclimatici soddisfacenti. Infatti, nel periodo estivo è dimostrabile che il progetto comporterebbe una riduzione significativa dei parametri microclimatici, dovuta sia agli effetti benefici prodotti dall'incremento delle superfici verdi, sia dalla sostituzione di pavimentazioni stradali di colore chiaro, in modo da assorbire meno calore nelle ore diurne, sia dalla maggior ombra generata dagli alberi impiantati, riducendo così le aree soleggiate. Valori, in parte soddisfacenti, si sono ottenuti anche nel periodo invernale, nel quale la presenza di vegetazione che nel periodo estivo produce effetti benefici, non lo è per questo periodo, in quanto il verde crea un *habitat* più freddo e umido. Per la particolare disposizione utilizzata nella progettazione del verde, come quella del *quinconce*, è stato possibile ridurre la velocità del vento, nelle aree in cui questo risultava un rischio per i pedoni e l'ambiente urbano. Se da un lato si riscontrano dei peggioramenti nel periodo invernale, bisogna sottolineare che alcuni di questi parametri rientrano nei *range* prefissati, come sono quelli del PMV e dell'Umidità Relativa. Il lavoro di tesi ha avuto, oltre allo scopo di ridurre gli effetti meteorici, anche quello di valorizzare luoghi come quello di Piazza Bernini o del parcheggio tra Via degli Artisti e Piazza Bernini, ricreando nel primo il concetto vero e proprio di piazza e trasformando il secondo in un parco urbano di quartiere, nei quali sono presenti i dispositivi GSI sia per la raccolta delle acque sia per sensibilizzare e far conoscere alla popolazione questa tecnologia. Altri risultati sono riscontrabili economicamente, in quanto dall'analisi Costi-Benefici (ACB) si sono ottenuti i benefici del progetto sia in termini di trasporto veicolare, sia per la piantumazione di nuovi alberi, ricavati tramite il *software i-Tree ECO*. Questa analisi ha consentito di determinare un VAN di 1,27 milioni di € con un *PayBack Period* di 5 anni.

Interessante è stato ricavare la differenza di costi tra la realizzazione di GSI e l'incremento di fognatura a quella esistente. Attraverso i costi parametrici della regione Veneto è stato possibile ricavare il costo della fognatura che è di circa 350.000,00 €, di gran lunga superiore ai costi di GSI che si aggirano intorno ai 115.000,00 €. Si otterrebbe così un risparmio di oltre 200.000,00 €, senza aver tenuto conto però delle altre opere.

In definitiva, i benefici ricavati possono essere classificati in *benefici monetizzati* e *altri benefici*. Nella prima categoria si ritrovano quelli che si sono ottenuti dall'ACB, che dimostrano come il progetto presentato sia conveniente anche sotto un aspetto monetario. Nella seconda categoria sono presenti tutti quei benefici che non possono essere, in questa sede di tesi, monetizzati, come ad esempio: i costi pubblici e privati risparmiati dalle inondazioni, benefici sociali, spazi ricreativi, benefici alla salute, *Green Jobs*, e così via. Questi ulteriori benefici riescono a dimostrare come il progetto possa essere valido e conveniente.

La ricerca sperimentale consentirebbe un'applicazione in molte zone dell'Italia caratterizzate da condizioni simili a quelle dell'area considerata, in quanto i risultati ottenuti possono essere utili sia tecnicamente, sia per potenziare la conoscenza dell'eredità culturale dei luoghi da parte dei cittadini (Valente). Infatti, come studiato nel **Cap. II §2.2.1**, questa innovazione tecnologica può essere replicabile, *“per aumentare la resilienza della tipologia di paesaggi urbani indagati, dove limiti di disponibilità di dati di base, risorse, esperienze, non devono rimanere ostacoli all'applicazione di buone pratiche di progetti ambientali”*¹.



¹ Losasso M., Lucarelli M. T., Rigillo M., Valente R. (2020), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore

APPENDICE

APPENDICE

Densità abitativa (ab/ha)	300
Superficie (mq)	82697
Superficie (ha)	8,2697
Superficie pubblica (mq)	29022,22
Abitanti (ab)	2480,91
Superficie verde pubblico (mq)	1892,513
Superficie verde pubblico (ha)	0,189251
Densità Aree verdi sulla superficie totale (mq/mq)	0,02
Verde urbano fruibile con densità ab. 300 (mq/ab)	0,76
Indice di permeabilità area pubblica (mq/mq)	0,065

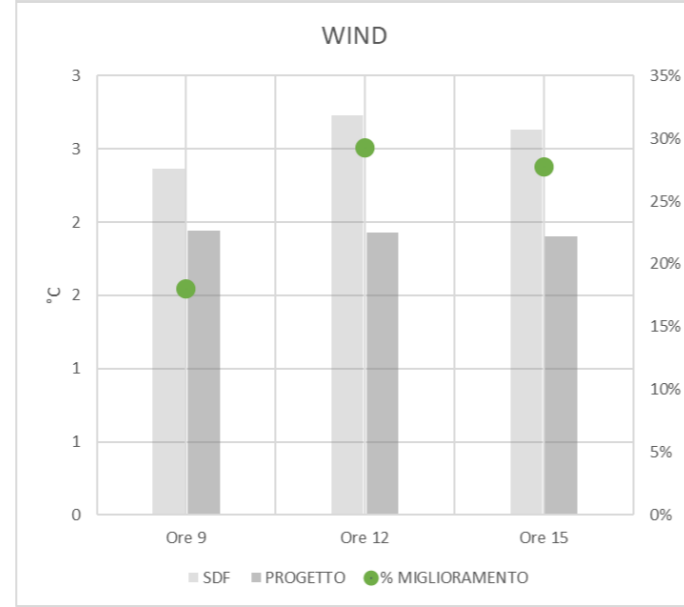
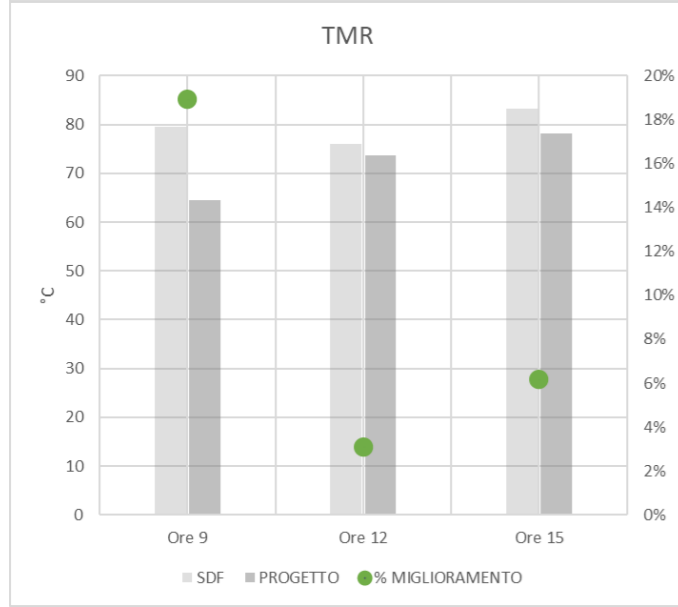
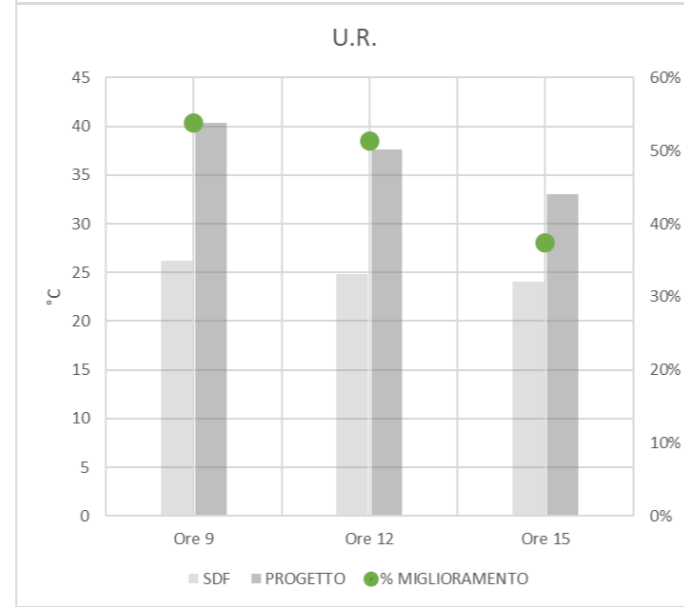
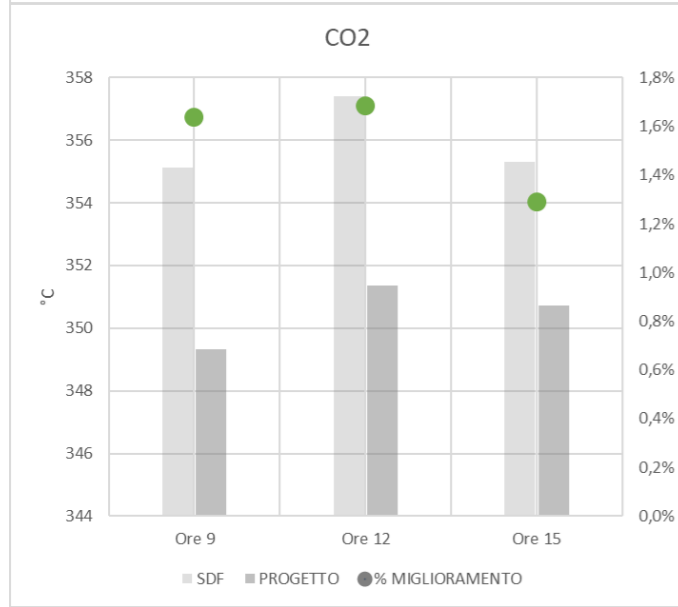
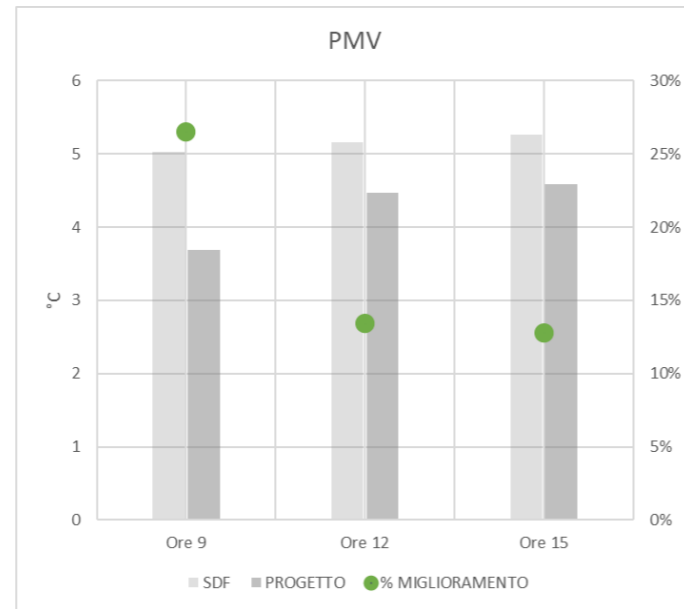
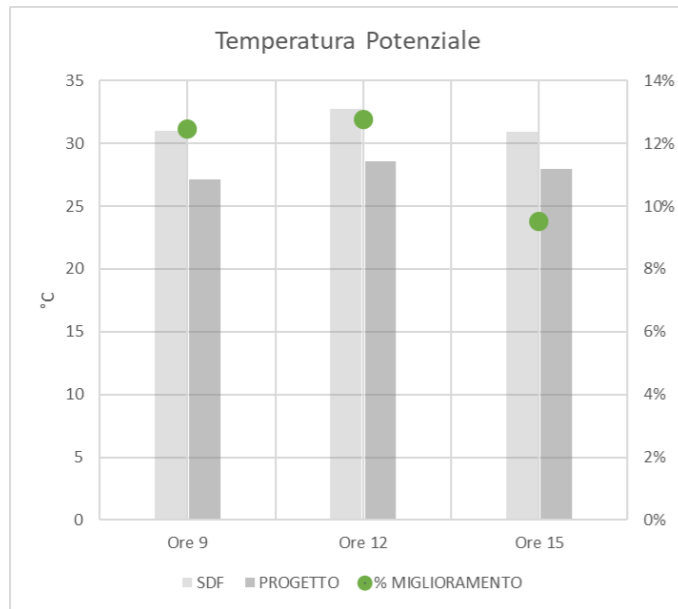
Tabella A - Risultati dello studio della vegetazione dell'area

Verde urbano di progetto (mq)	3121,42
Indice di permeabilità area pubblica Progetto (mq/mq)	0,17
Indice di permeabilità area pubblica Progetto (%)	17,28
Verde urbano fruibile progetto (mq/ab)	2,02
RIE Sdf	0,78
RIE Progetto	1,20
BAF Sdf	0,08
BAF Progetto	0,12
Aree permeabili Sdf (mq)	1892,51
Aree permeabili Progetto (mq)	5923,29
Aree impermeabili Sdf (mq)	29022,22
Aree impermeabili Progetto (mq)	23098,93
Aree GSI (mq)	1615,36
Volume di acqua piovana (mc)	667,92
Volume di acqua gestita (mc)	848,06
Alberi Sdf	97
Alberi Progetto	238
Acqua Infiltrata (mc)	777,78
Acqua Ritenuta (mc)	70,28175

Tabella B - Valori di progetto

Parametri	L [m]	A [m ²]	Δ [m]	pm	h [m]	Cp	t _c [h]	i _j [mm/h]	Q _j [mc/s]	V _{T20} [mc]	S _n [m ²]
Area 10	495,36	3362,66	1,00	0,002	1,50	0,35	1,39	43,32	0,028	141,63	269,77
Area 11	642,64	9203,56	2,00	0,003	1,50	0,35	1,36	43,71	0,078	383,15	729,81
Area 12	160,67	2900,00	2,00	0,012	1,50	0,35	0,25	89,78	0,051	46,49	88,55
Area 13	44,51	700,00	2,00	0,045	1,50	0,35	0,05	174,87	0,024	4,64	8,83
Area 14	306,69	4112,00	3,00	0,009	1,50	0,35	0,45	69,82	0,056	92,01	175,25

Tabella C - Risultati dello studio idraulico



Superficie GSI (mq)	88.00
Volume di acqua piovana (mc)	5.00
Volume di acqua raccolta presunta (mc)	46.20
Percentuale di acqua ritenuta (%)	11.55
Percentuale di acqua infiltrata in falda (%)	76.45
Superficie impermeabile SDF (mq)	1435.00
Superficie impermeabile PROGETTO (mq)	1364.00
Superficie permeabile SDF (mq)	65.00
Superficie permeabile PROGETTO (mq)	136.00
Indice di permeabilità SDF (%)	4.00
Indice di permeabilità PROGETTO (%)	9.00

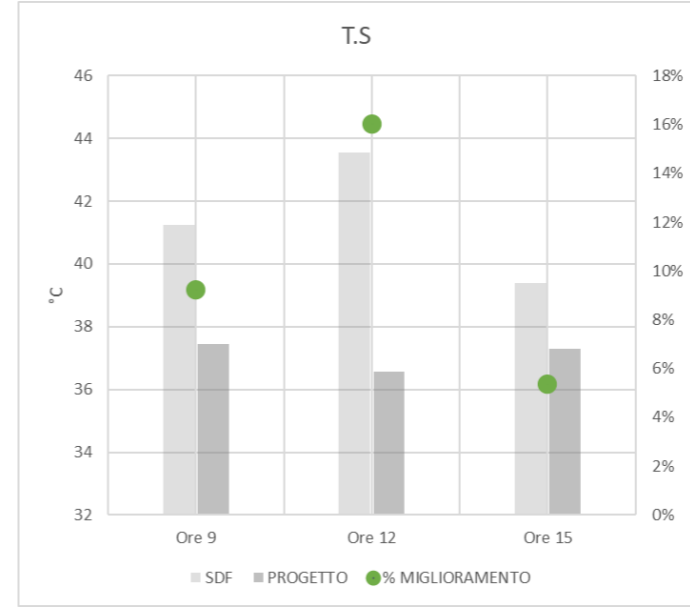
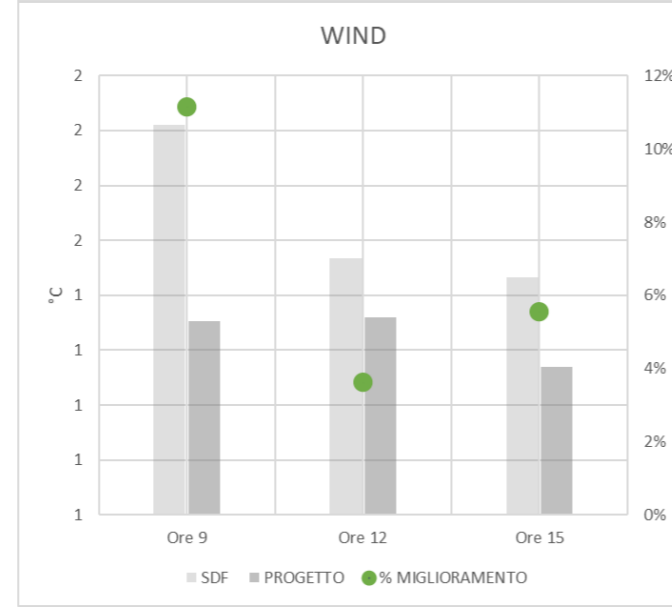
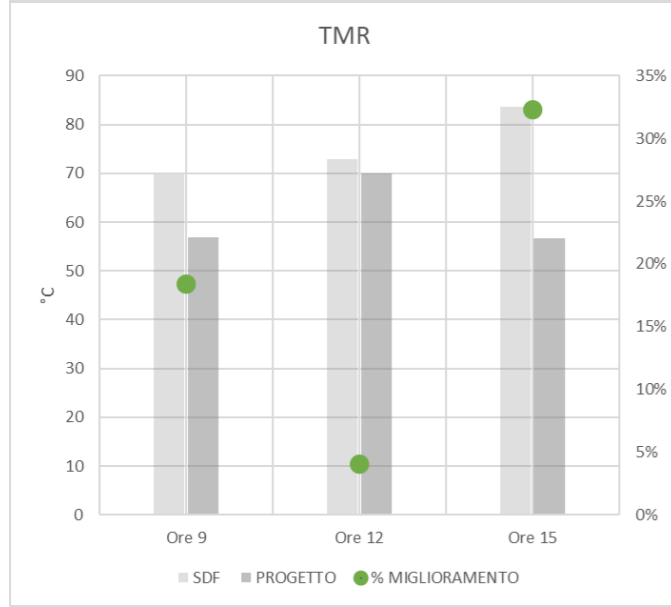
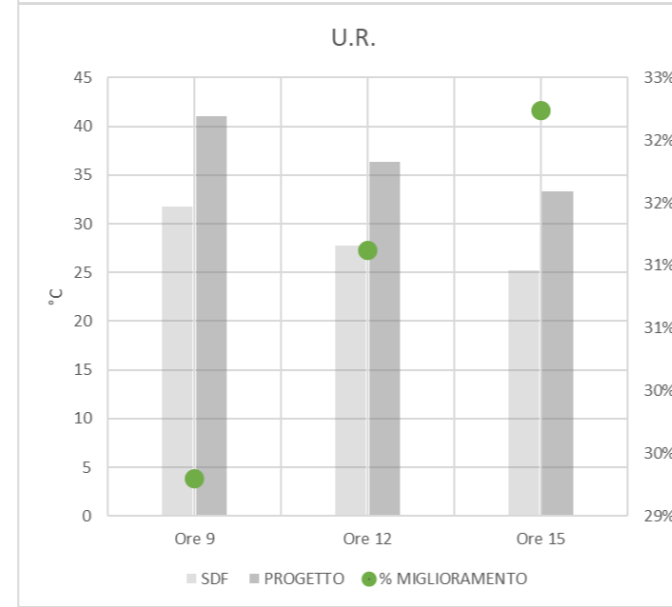
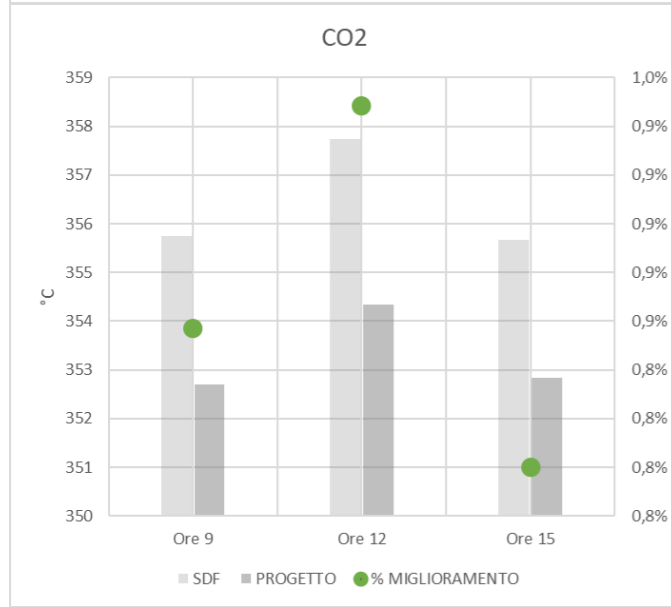
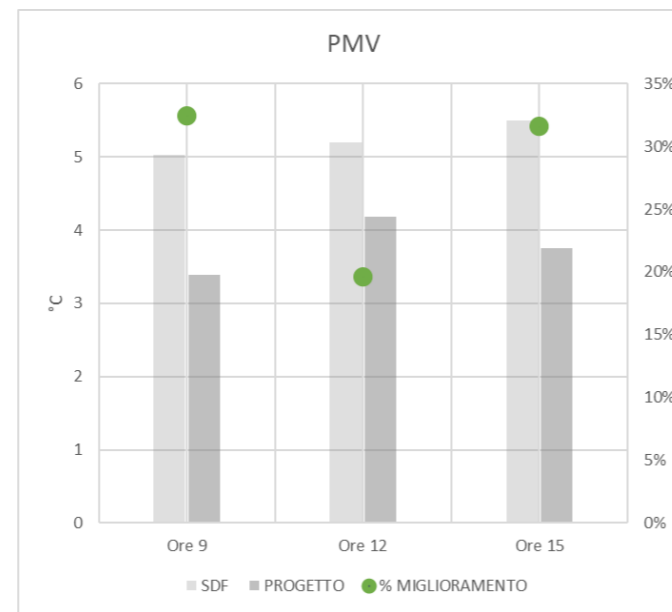
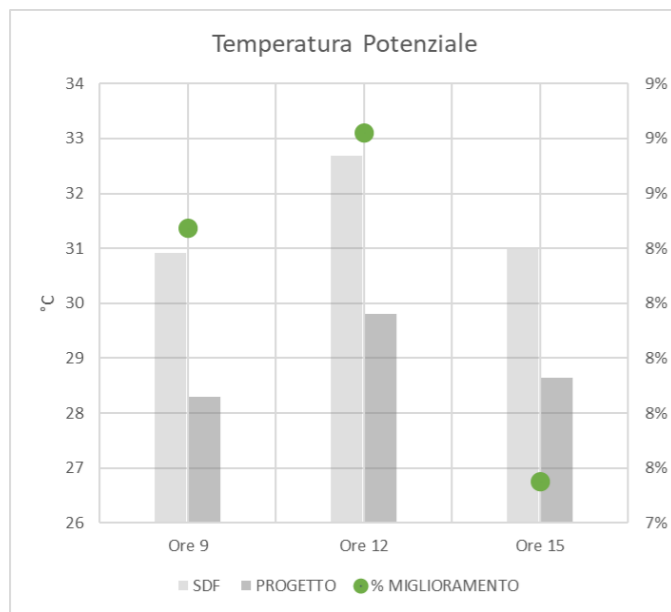


Tabella D - Valori del progetto di GSI ottenuti nell'area di piazza Bernini. Gli istogrammi rappresentano i risultati microclimatici nel periodo estivo



Superficie GSI (mq)	418.00
Volume di acqua piovana (mc)	116.50
Volume di acqua raccolta presunta (mc)	219.45
Percentuale di acqua ritenuta (%)	0.00
Percentuale di acqua infiltrata in falda (%)	100.00
Superficie impermeabile SDF (mq)	4000.00
Superficie impermeabile PROGETTO (mq)	2291.10
Superficie permeabile SDF (mq)	0.00
Superficie permeabile PROGETTO (mq)	1708.90
Indice di permeabilità SDF (%)	0.00
Indice di permeabilità PROGETTO (%)	43.00

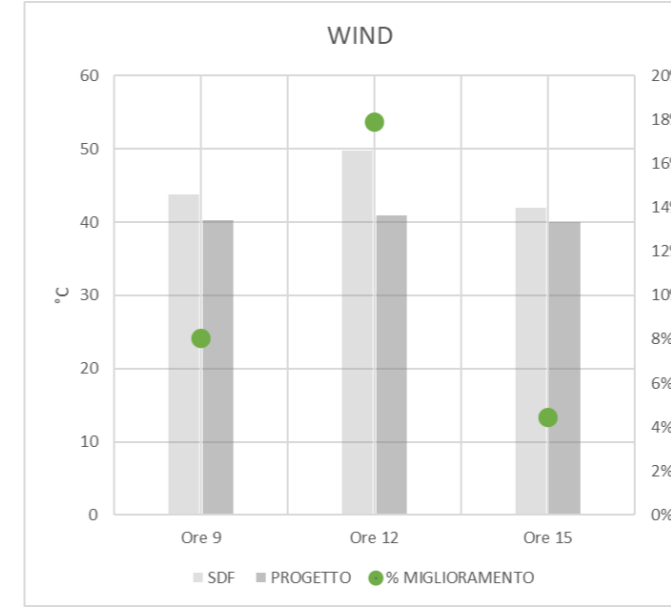
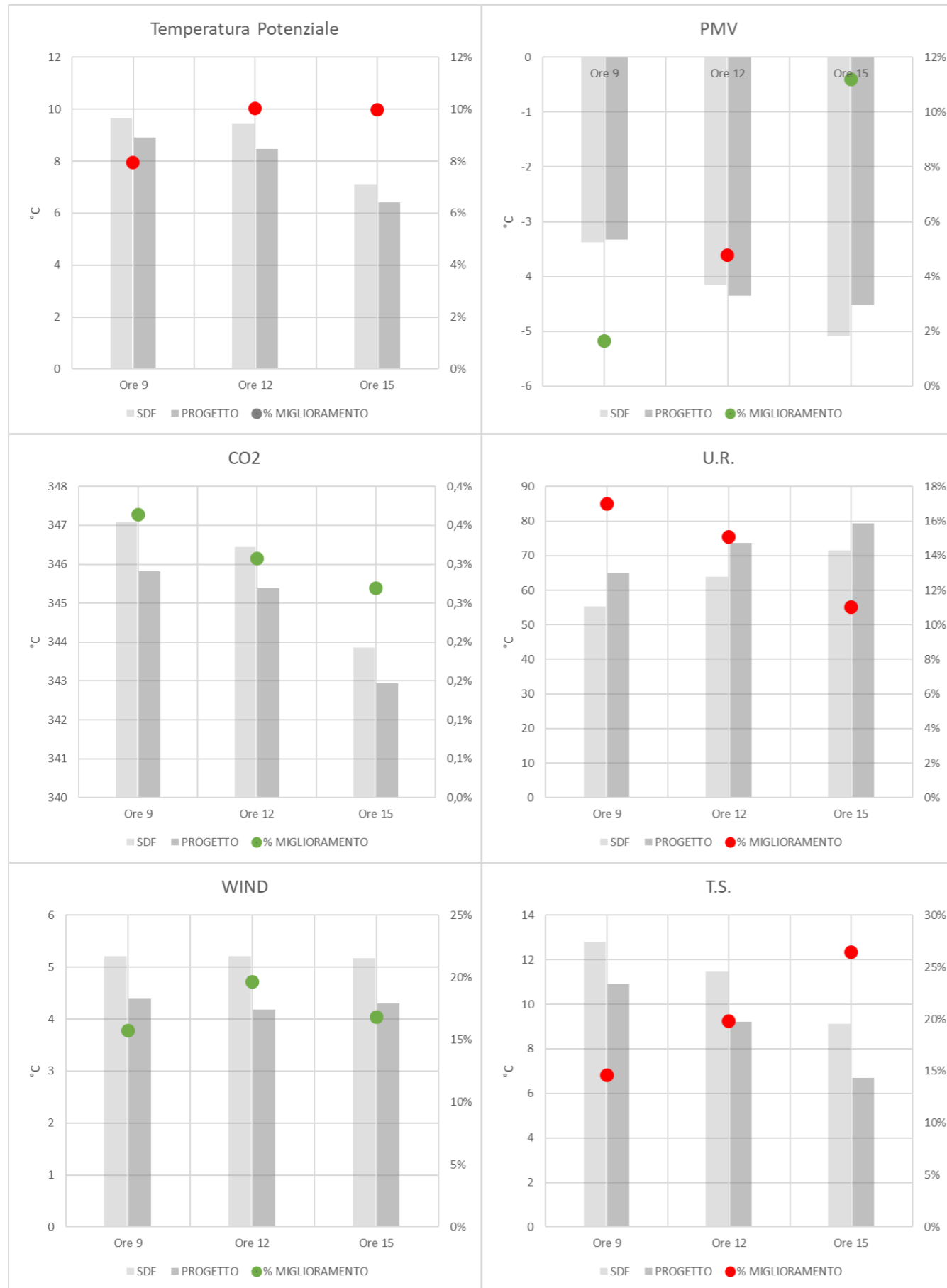
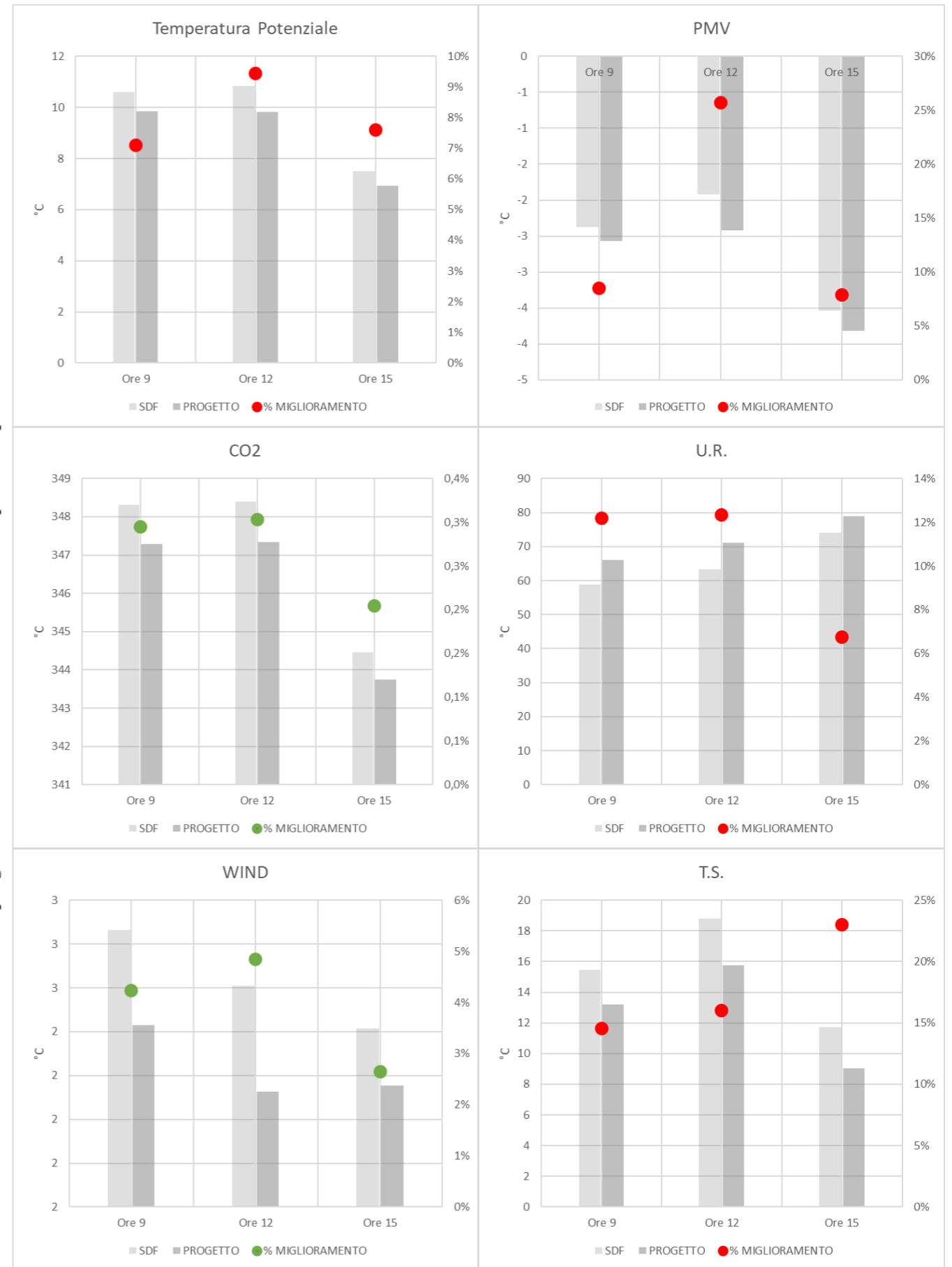


Tabella E - Valori del progetto di GSI ottenuti nell'area del *mini park*. Gli istogrammi rappresentano i risultati micro-climatici nel periodo estivo.

Valori del progetto di GSI ottenuti nell'area di piazza Bernini nel periodo invernale



Valori del progetto di GSI ottenuti nell'area del mini park nel periodo invernale



Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
RIPORTO								
LAVORI A MISURA								
1 U.05.010.020 .a	Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso, pietrischetto bitumato, asfalto compresso o colato, eseguita con mezzi meccanici, compreso l'allontanamento del materiale non utilizzato entro 5 km di distanza; con misurazione del volume in opera. DEMOLIZIONE PAVIMENTAZIONE STRADALE	1,00	80,00	4,000	0,100	32,00		
	SOMMANO mc					32,00	16,45	526,40
2 U.05.010.028 .a	Fresatura di pavimentazioni stradali di conglomerato bituminoso, fino a completa pulitura della pavimentazione stessa con esclusione del trasporto del materiale di risulta al di fuori del cantiere. Spessori fino ai 3 cm, al m ² per ogni cm di spessore. FRESATURA PAVIMENTAZIONE STRADALE	1,00	80,00	4,000		320,00		
	SOMMANO mq/cm					320,00	0,97	310,40
3 D.001.005.a	CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI BASE Marcato CE, secondo le prescrizioni del CSA. Miscela costituita da inerti (pietrischi) provenienti dalla frantumazione di rocce ... Anello compreso tra 45 e 60 °C e Penetrazione compresa tra 50 e 70 dmm PER METRO CUBO COMPATTATO. - CON BITUME TAL QUALE BASE	1,00	80,00	4,000	0,070	22,40		
	SOMMANO m ³					22,40	119,72	2'681,73
4 D.001.036.c	STRATO DI USURA DRENANTE Fornitura e posa in opera di conglomerato bituminoso per strato di Usura Drenante, marcato CE, secondo le prescrizioni del CSA. Miscela cost ... % e 6,2% PER UNO SPESSORE DI 4 CM. - FONASSORBENTE CON IMPIEGO DI ARGILLA ESPANSA STRUTTURALE PER UNO SPESSORE DI 4 CM ASFALTO FONASSORBENTE	1,00	80,00	4,000		320,00		
	SOMMANO mq x 4 cm					320,00	11,51	3'683,20
	Parziale LAVORI A MISURA euro							7'201,73
	TOTALE euro							7'201,73

Tabella F - Computo metrico estimativo dell'asfalto fonoassorbente ricavato dai prezzi della Regione Campania tramite il software PRIMUS

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
RIPORTO								
LAVORI A MISURA								
1 U.05.010.020 .a	Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso, pietrischetto bitumato, asfalto compresso o colato, eseguita con mezzi meccanici, compreso l'allontanamento del materiale non utilizzato entro 5 km di distanza; con misurazione del volume in opera. DEMOLIZIONE PAVIMENTAZIONE STRADALE	1,00	5,00	2,000	0,100	1,00		
	SOMMANO mc					1,00	16,45	16,45
2 U.05.010.028 .a	Fresatura di pavimentazioni stradali di conglomerato bituminoso, fino a completa pulitura della pavimentazione stessa con esclusione del trasporto del materiale di risulta al di fuori del cantiere. Spessori fino ai 3 cm, al m ² per ogni cm di spessore. FRESATURA PAVIMENTAZIONE STRADALE	1,00	5,00	2,000		10,00		
	SOMMANO mq/cm					10,00	0,97	9,70
3 U.05.010.022 .a	Demolizione di fondazione stradale di qualsiasi tipo, eseguita con mezzi meccanici, compreso trasporto nell'ambito del cantiere fino ad una distanza massima di 5 km. DEMOLIZIONE FONDAZIONE STRADALE	1,00	5,00	2,000	0,300	3,00		
	SOMMANO mc					3,00	6,66	19,98
4 A.002.001.a	PREPARAZIONE DEL PIANO DI POSA - DEI RILEVATI CON MATERIALI DA CAVA A1/A3 - Compreso lo scavo scorticamento per una profondità media di cm 20, previo taglio degli alberi e dei cesp ... i rilevati compresa la fornitura dei materiali stessi. Appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3. FONDAZIONE STRADALE	1,00	5,00	2,000		10,00		
	SOMMANO m ²					10,00	2,78	27,80
5 E.13.140.010 .b	Pavimentazione con mattoni in cotto non gelivi di dimensioni 5,5x12x25 cm, a secco su letto di sabbia lavata dello spessore di 5 cm opportunamente compattata e su sottofondo resistente, compresa la sigillatura con sabbia finemente vagliata. Posti di coltello PAVIMENTAZIONE	1,00	5,00	2,000		10,00		
	SOMMANO mq					10,00	19,05	190,50
	Parziale LAVORI A MISURA euro							264,43
	TOTALE euro							264,43

Tabella G - Computo metrico estimativo della pavimentazione drenante ricavato dai prezzi della Regione Campania tramite il software PRIMUS

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
R I P O R T O								
LAVORI A MISURA								
1 U.05.010.020 .a	Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso, pietrischetto bitumato, asfalto compresso o colato, eseguita con mezzi meccanici, compreso l'allontanamento del materiale non utilizzato entro 5 km di distanza; con misurazione del volume in opera. DEMOLIZIONE ASFALTO	1,00	685,00	2,500	0,050	85,63		
	SOMMANO mc					85,63	16,45	1'408,61
2 T.01.010.020 .b	Trasporto di materiale proveniente da lavori di movimento terra con autocarro di portata fino a 50 q Trasporto di materiali provenienti da lavori di movimento terra e demolizioni s ... eri di discarica autorizzata. Trasporto con autocarri di portata fino a 50 q, per ogni cinque km in più oltre i primi 10 TRASPORTO A DISCARICA	1,00	685,00	2,500	0,200	342,50		
	SOMMANO mc/ 5km					342,50	5,98	2'048,15
3 U.05.020.022 .a	Conglomerato bituminoso per manto di usura drenante, costituito da una miscela di inerti rocce basaltiche, bitume e polimeri. Spessore 5 cm MANTO STRADALE	1,00	685,00	2,500		1'712,50		
	SOMMANO mq					1'712,50	15,74	26'954,75
4 U.05.020.095 .a	Conglomerato bituminoso per strato di collegamento (binder) costituito da miscela di aggregati e bitume, confezionato a caldo in idonei impianti, steso in opera con vibrofinitrici, e costipato con appositi rulli. TAPPETTINO DI USURA	1,00	685,00	2,500		1'712,50		
	SOMMANO mq/cm					1'712,50	1,60	2'740,00
5 U.05.080.010 .a	Cordoni in calcestruzzo di colore grigio, posati su letto di malta di cemento tipo 325, compresi rinfianco, sigillatura dei giunti, i pezzi speciali. Cordone prefabbricato da 8+10x25x100 cm CORDONI LATERALI	1,00	685,00			685,00		
	SOMMANO m					685,00	16,18	11'083,30
6 U.05.050.058 .a	Segnaletica orizzontale in strisce longitudinali o trasversali con vernice rifrangente premiscelata di colore bianca o gialla permanente, in quantità di 1,6 kg/mq Segnaletica orizz ... gnaletica nel momento in cui viene illuminata dai veicoli, in quantità pari a 0,2 kg/m². Per strisce di larghezza 12 cm. SEGNALETICA ORIZZONTALE	1,00	685,00			685,00		
	SOMMANO ml					685,00	1,65	1'130,25
	Parziale LAVORI A MISURA euro							45'365,06
	TOTALE euro							45'365,06

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
R I P O R T O								
LAVORI A MISURA								
1 U.05.010.020 .a	Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso, pietrischetto bitumato, asfalto compresso o colato, eseguita con mezzi meccanici, compreso l'allontanamento del materiale non utilizzato entro 5 km di distanza; con misurazione del volume in opera. DEMOLIZIONE ASFALTO	1,00	50,00	30,000	0,200	300,00		
	SOMMANO mc					300,00	16,45	4'935,00
2 U.05.020.020 .a	Compattazione del piano di posa della fondazione stradale (sottofondo) nei tratti in trincea fino a raggiungere in ogni punto una densità non minore del 95% dell'AASHO modificato, compresi gli eventuali inumidimenti od essiccamenti necessari COMPATTAZIONE	1,00	50,00	30,000		1'500,00		
	SOMMANO mq					1'500,00	1,92	2'880,00
3 U.05.060.025 .a	Pavimentazione in lastre di pietra dura, posta in opera su sottostante massetto di fondazione, da pagarsi a parte; lastre quadrate o rettangolari di lato minore non inferiore a 35 ... ra, carico, trasporto e scarico a rifiuto, a qualsiasi distanza, del materiale inutilizzabile. Lastre in pietra calcarea PAVIMENTAZIONE IN LASTRE DI PIETRA	1,00	50,00	30,000		1'500,00		
	SOMMANO mq					1'500,00	54,90	82'350,00
	Parziale LAVORI A MISURA euro							90'165,00
	TOTALE euro							90'165,00

Tabella H - Computo metrico estimativo della pista ciclabile ricavato dai prezzi della Regione Campania tramite il software PRIMUS

Tabella I - Computo metrico estimativo della pavimentazione in pietra ricavato dai prezzi della Regione Campania tramite il software PRIMUS

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
RIPORTO								
LAVORI A MISURA								
1 U.05.010.020 .a	Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso, pietrischetto bitumato, asfalto compresso o colato, eseguita con mezzi meccanici, compreso l'allontanamento del materiale non utilizzato entro 5 km di distanza; con misurazione del volume in opera. DEMOLIZIONE DI PAVIMENTAZIONE IN CONGLOMERATO BITUMINOSO	1,00	35,00	4,000	0,200	28,00		
	SOMMANO mc					28,00	16,45	460,60
2 E.01.015.010 .a	Scavo a sezione obbligata eseguito con mezzi meccanici Scavo a sezione obbligata, eseguito con mezzi meccanici, anche in presenza di battente d'acqua fino a 20 cm sul fondo, compre ... el cantiere. Compresi il rispetto di costruzioni preesistenti sotterranee. In rocce sciolte (con trovanti fino a 0,3 mc) SCAVO SEZIONE OBBLIGATA	1,00	35,00	4,000	1,500	210,00		
	SOMMANO mc					210,00	4,84	1'016,40
3 U.05.020.035 .a	Strato anticontaminante e come funzione di filtrante fra il terreno di base ed il riempimento con il rilevato composto da geotessile non tessuto costituito da polipropilene a filo ... ore a 11,5 KN/m; resistenza al punzonamento non inferiore a 1750 N; permeabilità verticale non inferiore a 100 l/m²/sec. CONTENIMENTO PARETI CONTENIMENTO PARETI	2,00	35,00		1,500	105,00		
	SOMMANO mq	2,00		4,000	1,500	12,00		
						117,00	2,93	342,81
4 E.07.050.020 .a	Drenaggio orizzontale con ghiaia o ciottoloni di cava locale Esecuzione drenaggio orizzontale con ghiaia o ciottoloni di cava locale, posta a secco con ausilio di mezzi meccanici e con spianamento a mano. Spessore fino cm 10 STRATO DI GHIAIA	1,00	35,00	4,000	0,600	84,00		
	SOMMANO mc					84,00	41,87	3'517,08
5 U.05.020.010 .b	Formazione di rilevato secondo le sagome prescritte con materiali idonei, provenienti sia dagli scavi che dalle cave, il compattamento a strati fino a raggiungere la densità prescr ... le. Rilevato con materiali provenienti da scavi, con distanza massima pari a 5 km, appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7, A4 RIEMPIMENTO TERRENO VEGETALE	1,00	35,00	4,000	0,800	112,00		
	SOMMANO mc					112,00	6,89	771,68
6 U.04.020.055 .d	Soletta per pozzetti di tipo pesante per traffico carrabile realizzata con elementi prefabbricati in cemento vibrato con asola preformata per l'alloggiamento di chiusini in ghisa di misura da lato di 50 cm fino a lato di 120 cm Dimensioni 150x110 cm IMPLUVIO PER ACQUE DELLA CARREGGIATA IN AIUOLA				10,000	10,00		
	SOMMANO cad					10,00	172,19	1'721,90
7 U.05.080.010 .f	Cordoni in calcestruzzo di colore grigio, posati su letto di malta di cemento tipo 325, compresi rinfianco, sigillatura dei giunti, i pezzi speciali. Cordone prefabbricato da 18*20x25x100 cm CORDOLO IN C.A. SU TUTTI I LATI					78,00		
	SOMMANO m					78,00	33,16	2'586,48
TOTALE								10'416,95

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
RIPORTO								10'416,95
8 V.02.020.140 .a.CAM	Tappeto erboso in zolla, per inerbimento a pronto effetto, compresi i lavori preparatori, esclusa irrigazione: Per superfici fino a 500 mq VEGETAZIONE ERBOSA	1,00	35,00	4,000		140,00		
	SOMMANO mq					140,00	11,26	1'576,40
9 V.02.020.080 .c.CAM	Preparazione delle buche per la posa in opera di piante arboree ed arbustive, operazione consistente nell'apertura della buca eseguita con mezzo meccanico, posa del materiale di ri ... o con interramento in sito nel caso di sistemazione a verde, minimo 30 buche: In vie alberate con parcheggio autovetture PREPARAZIONE TERRENO					10,00		
	SOMMANO cad					10,00	3,18	31,80
10 V.02.020.115 .c.CAM	Messa a dimora di alberi a portata piramidale o cespuglioso in area verde Messa a dimora di alberi a portata piramidale o cespuglioso (es. magnolia, leccio) in area verde, posti a ... tura e posa di tubo dreno interrato per irrigazione, esclusa la fornitura delle piante. Per piante di altezza da 5 a 6 m PIANTUMAZIONE MAGNOLIE					10,00		
	SOMMANO cad					10,00	350,27	3'502,70
11 U.05.030.010 .a	Asfalto colato spessore 20 mm, compresi lo spandimento della graniglia e la rullatura della pavimentazione dei marciapiedi. RIPRISTINO ASFALTO RIPRISTINO ASFALTO	2,00	35,00	1,000		70,00		
	SOMMANO mq	2,00	4,00	1,000	1,000	8,00		
						78,00	5,13	400,14
Parziale LAVORI A MISURA euro								15'927,99
TOTALE euro								15'927,99

Tabella L - Computo metrico estimativo del Rain Garden ricavato dai prezzi della Regione Campania tramite il software PRIMUS

Species	Trees Number	Carbon Storage		Gross Carbon Sequestration		Avoided Runoff		Pollution Removal		Strutturale Value (€)
		(metric)	(€)	(metric ton/yr)	(€/yr)	(mc/yr)	(€/yr)	(metric ton/yr)	(€/yr)	
Abies alba	8	2,23	359,06	0,1	16,6	0,01	0,01	0	3,94	17160,76
betula pendula ssp. Pendula	20	10,3	1654,66	0,78	125,23	0,02	0,04	0	10,22	26540,93
Cedrus atlantica	7	3	482,62	0,07	10,94	0,01	0,02	0	6,44	18649,75
Celtis australis	5	0,29	46,12	0,02	3,13	0	0,01	0	2,52	7095,86
Cercis siliquastrum	68	11,02	1770,34	1,07	171,31	0,01	0,03	0	7,75	93032,78
Ficus elastica	15	0,51	81,66	0,1	16,22	0	0,01	0	1,89	8504,25
Magnolia grandiflora	5	2,27	365,18	0,13	20,17	0	0,01	0	2,63	12041,74
Pinus Pinea	23	11,31	1817,85	0,48	76,71	0,01	0,02	0	6,13	70233,58
Tilia platyphyllos	28	18,69	3003,31	0,8	128,85	0,04	0,08	0	22,61	105533,5
Total	179	59,62	9580,8	3,55	569,16	0,1	0,23	0	64,13	358793,15

Tabella I - Benefici ambientali derivanti dagli alberi

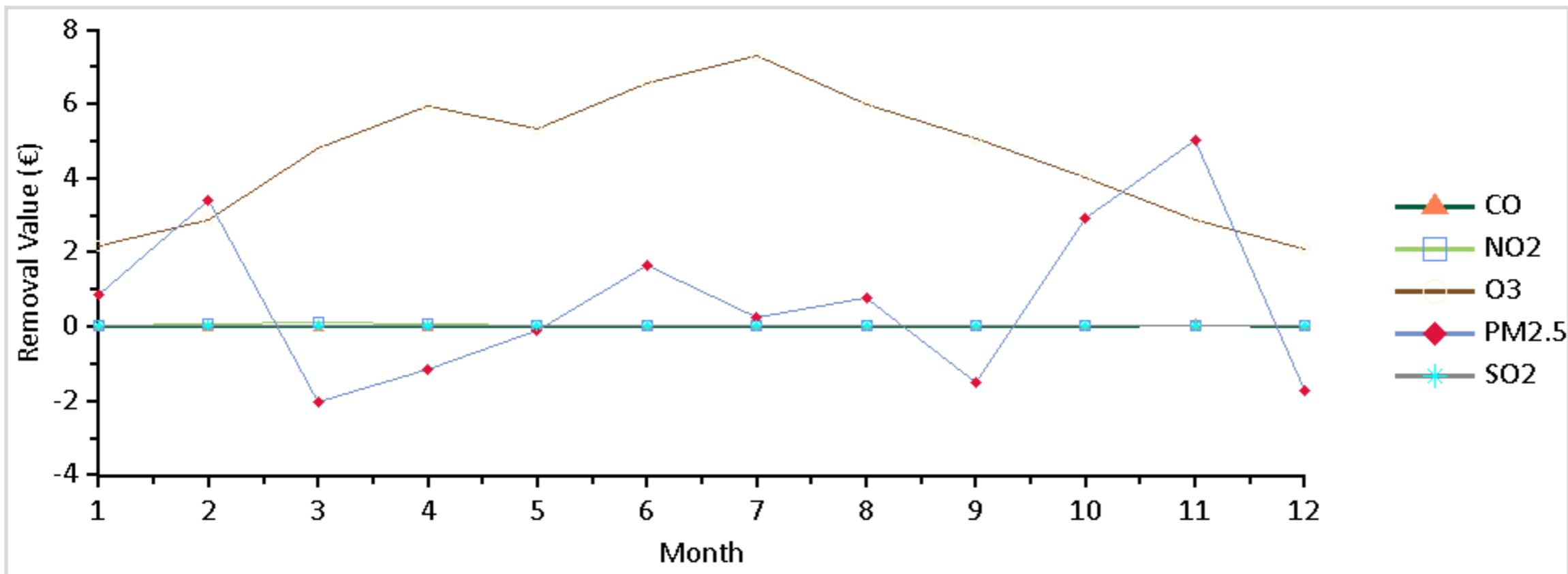


Figura A - Rimozione dell'inquinamento da alberi e arbusti. Risultati ottenuti attraverso il software *i-Tree ECO*.

ANNO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Costi di investimento	405617,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costi di manutenzione		252,125	252,125	252,125	252,0023988	251,925	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5
Inquinamento Acustico			33841,01117	33841,01117	33824,55525	33814,167	33757,1217	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12
Air Pollution			24392,91194	24600,25169	24797,28975	25000,386	25158,11512	25351,83	25503,94	25656,97	25810,91	25965,77	26121,57
Gas Climalteranti			67952,08961	68529,68237	69078,57739	69644,348	70083,73977	70623,38	71047,12	71473,41	71902,25	72333,66	72767,66
Benefits tree	17119,44895	17119,45	17119,44895	17119,44895	17116,93994	17115,356	17106,65847	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66
Valori attualizzati Benefici	0	0	112114,6379	106336,1677	100807,8927	95585,486	90477,28674	85768,36	81203,76	76882,61	72791,91	68919,33	65253,22
COSTI—BENEFICI	-410548,86	-410548,9	-298434,222	-192098,0544	-91290,1618	4295,3247	94772,61143	180541	261744,7	338627,3	411419,2	480338,6	545591,8

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2042	2042	2042	2042	2042	2042	2042	2042	2042
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,5	251,175	251,175
33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33757,12	33713,5	33713,5
26278,3	26435,97	26594,58	26754,15	26914,68	27076,16	27238,62	27402,05	27566,47	27731,86	27898,26	28065,65	28234,04	28403,44	28573,86	28745,31	28880,41	29053,69
73204,27	73643,5	74085,36	74529,87	74977,05	75426,91	75879,47	76334,75	76792,76	77253,51	77717,03	78183,34	78652,44	79124,35	79599,1	80076,69	80453,05	80935,77
17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17106,66	17100,01	17100,01
61782,54	58496,86	55386,29	52441,48	49653,57	47014,19	44515,4	42149,7	39909,99	37789,54	35781,99	33881,31	32081,8	30378,07	28765	27237,76	25758,44	24391,15
607374,3	665871,2	721257,5	773699	823352,5	870366,7	914882,1	957031,8	996941,8	1034731	1070513	1104395	1136476	1166855	1195620	1222857	1248616	1273007

Tabella M - Analisi Costi-Benefici

Ringraziamenti

Ringrazio la Prof.ssa Renata Valente, che mi ha saputo trasmettere fin dalla prima lezione la passione per questo favoloso mondo che è la Progettazione Ambientale. Mi ha accompagnato passo dopo passo in questo percorso, insegnandomi e chiarendomi dubbi e incertezze ogni qualvolta ne ho avuto bisogno. Grazie perché mi ha permesso, con questo progetto di tesi, di lavorare al suo fianco e di scoprire un mondo che mai mi sarei sognato di conoscere.

Ringrazio il Prof. Salvatore Losco per il suo sostegno, la sua disponibilità e i suoi preziosi consigli, non solo accademici, che mi hanno aiutato ed accompagnato in questo percorso.

Ringrazio in particolare Roberto, che mi ha aiutato, con pazienza, nella correzione continua della Tesi e che ha sempre cercato di consigliarmi ed aiutarmi nelle scelte.

Un grazie sentito va anche a Pietro ed Eduardo per la gentilezza e la disinteressata disponibilità dimostratami.

Ai miei genitori Raffaele ed Anna che sono stati e sempre saranno il mio punto di riferimento e che mi hanno sempre sostenuto in qualsiasi mia scelta. Un ringraziamento particolare va al mio papà, che è stato sempre presente; grazie per tutti i sacrifici che hai fatto per me e per i preziosi consigli che mi hai dato. Sarebbe stato bello se ti fosse stato permesso di vedermi realizzato, ma sono sicuro che ovunque sarai mi vedrai e sarai orgoglioso di quello che sono diventato. Grazie alla mia mamma che mi sostiene ancora oggi e che rappresenta il mio punto di riferimento, incoraggiandomi, insegnandomi ad affrontare ogni difficoltà e spingendomi a seguire la mia “strada”.

Un grazie sentito è per le mie sorelle Daniela e Simona, e per i loro compagni di vita Vincenzo e Lorenzo. Grazie perché hanno cercato in ogni occasione di aumentare la mia autostima e, ogni volta che ho avuto bisogno di loro, sono sempre stati presenti. Grazie anche ai miei nipoti Anna e Luigi che ravvivano la casa e le nostre giornate.

Un grazie agli amici che sono rimasti, quelli veri, per la loro simpatia che ravviva le mie serate. Grazie a Roberta ed Edilio che ho scoperto specialmente in questa vacanza itinerante fatta insieme; e a Mariagrazia e Vincenzo, che, pur conoscendo da poco, sento come parte fondamentale delle mie amicizie. Grazie a Patrizia, Lucia, Sara, Chiara Tranquillo e Chiara Tenga, Giovanna, Angela e Saverio, che riempiono le mie domeniche con la loro simpatia, il loro canto e la loro amicizia. Ancora un grazie ai miei compagni di studio di Napoli, con cui ho passato le più belle giornate nelle biblioteche, nelle aule studio, a seguire le lezioni, davanti al caffè della macchinetta o del chioschetto.

Ultima e non per ultima voglio ringraziare la mia persona unica e speciale, Miha, la mia compagna di viaggio, la mia migliore amica, la mia spalla. Abbiamo affrontato insieme questo cammino, passo dopo passo, giorno dopo giorno, superando tutte le difficoltà rialzandoci più forti di prima. So che se ho bisogno di un sostegno tu ci sei sempre, e non mi hai mai abbandonato. Grazie per avermi accompagnato in questa esperienza grazie anche ai tuoi innumerevoli e preziosi consigli. Grazie per essermi sempre stata al mio fianco in ogni momento, e anche oggi, in questo giorno per me importante e necessario, sei qui con me a festeggiare questo mio traguardo.

Ti amo!