



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Direttore: Prof. A. Di Giulio

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie per la Natura

**Utilizzo del Geographical Information System (GIS)
come metodo applicativo per la gestione e rappresentazione dei dati climatici a
scopi di tutela ambientale**

Relatore:

Prof. Matteo Crozi

Correlatrice:

Dott.ssa Cristina Lavecchia

Tesi di Laurea
in Scienze e Tecnologie per la Natura
di Patrizia Pagnoni
matr.: 458517

Anno Accademico 2019/20

*“La nostra sfida più grande in questo nuovo secolo
è di adottare un’idea che sembra astratta:
sviluppo sostenibile.”*

Kofi Annan

7° segretario Generale delle Nazioni Unite (1997-2006)

Indice

1 Introduzione	1
2 Aspetti teorici	3
2.1 IL CLIMA	3
2.2 GLI INDICATORI CLIMATICI	3
2.2.1 Indicatori termometrici	4
2.2.2 Indicatori pluviometrici	5
2.3 GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) E QGIS	6
3 Metodo applicativo	7
3.1 AREA DI STUDIO E IL MATERIALE DI PARTENZA	7
3.1.1 L'area di studio	9
3.1.2 Le stazioni meteorologiche	10
3.2 I PROGETTI	11
3.2.2 Il progetto Hub Lombardia	13
3.3 ELABORAZIONI E RISULTATI	14
3.3.1 Analisi su Pavia e l'ambiente urbano	14
3.3.2 Analisi su Vigevano e l'ambiente extraurbano	21
3.3.3 Appendice indicatori calcolati	27
4 Conclusioni	28
Bibliografia	29
Ringraziamenti	31

1

Introduzione

“La progettazione degli insediamenti all’interno di un piano regolatore generale o di un piano territoriale dovrà essere effettuata tenendo conto di tutti i fattori climatici e microclimatici presenti e, in seconda istanza, dovrà intervenire, quando si progettano per ciascuna zona i piani particolareggiati, sulla definizione dei volumi edilizi in rapporto al soleggiamento, al regime delle ombre e delle temperature esterne che vengono a crearsi per effetto del microclima, al regime dei venti, alla sistemazione delle aree verdi e della relativa vegetazione” (F. Musco, L. Fregolent, 2014)

La precisione e la meticolosità delle informazioni sono dunque necessarie allo studio di un metodo applicativo finalizzato al monitoraggio e all’analisi degli elementi climatici. Più è possibile avere una visione al dettaglio della situazione climatica urbana e rurale, più la realizzazione di soluzioni utili alla mitigazione e all’adattamento climatico è efficace. Per fare un esempio, si può prendere in considerazione la gestione del verde nelle aree urbane. Questo ambito infatti, non ha più solo un valore ornamentale ma è sempre più indirizzato al contrasto degli effetti urbani sul clima (riduzione delle superfici impermeabili urbane, aumento dell’ombreggiatura, attenuazione dell’isola di calore). Il clima urbano a sua volta influenza in modo rilevante l’attività delle piante e la loro rigogliosità. Solo piante ben curate e ben rifornite d’acqua possono esplicare effetti sul clima urbano. Si parla di verde urbano riferendosi a piante erbacee, arbustive e arboree al suolo e, talvolta, su tetti e facciate (NBS, Nature Based Solutions). Per ciascuna specie va verificata l’idoneità dell’ambiente atmosferico, a partire dalla sua selezione e, a seguire, piantumazione e mantenimento. Nell’ultimo decennio sono state riscontrate varie problematiche dagli addetti al settore, collegate più o meno direttamente alla variazione del clima in corso: accorciamento del periodo utile per la piantumazione, fioriture multiple, anticipazione della stagione vegetativa, debolezza delle piante esposte ad attacchi parassitari in tutto l’arco dell’anno. Da qui la richiesta di avere a disposizione dati climatici sito riferiti di temperatura, umidità dell’aria, precipitazioni, radiazione solare dettagliati a livello decennale per la “ricostruzione” dei periodi utili alle varie fasi vegetative e gestionali del verde, specie per specie.

L'obiettivo della tesi è quello di presentare l'utilità del sistema GIS per analisi e pianificazione del territorio che includano anche strati quantitativi di variabili climatiche, prestando particolare attenzione sull'elasticità del metodo applicativo, prendendo come riferimento due progetti ben distinti: uno su un'area urbana con alta densità abitativa e l'altro riferito ad un'area extraurbana principalmente agricola. In questo modo si vuole fare luce sull'importanza non solo del monitoraggio del clima attraverso indicatori statistici puntuali e areali, ma anche della rilevanza che ha la gestione del territorio cittadino e rurale in tema di ecosostenibilità e salvaguardia dell'ambiente dato il legame bidirezionale territorio-clima.

Il metodo applicativo elaborato nella tesi parte dalla raccolta dai DataBase di ARPA e Fondazione OMD di dati meteo grezzi che sono poi organizzati su tabelle Excel per il calcolo di indicatori climatici scelti in funzione dell'uso finale dell'informazione climatica, fino ad arrivare alla loro gestione e rappresentazione in QGIS. Con il supporto del programma open source infatti, è possibile la visione dell'andamento spaziale vero e proprio degli indicatori climatici e, in questo studio, si presta particolare attenzione al regime pluviometrico, alle Isole di Calore Urbane e alle Ondate di Calore. La raccolta e la gestione delle diverse informazioni climatiche, sotto più aspetti attraverso diversi strumenti, sono il cuore dell'elaborato: esso vuole presentare l'approccio per monitorare e studiare l'andamento del clima sul territorio, attraverso programmi informatici e un moderno punto di vista.

2

Aspetti teorici

2.1 IL CLIMA

Il clima deriva dal greco «clinamen» che vuol dire "inclinato" in quanto è in massima parte una funzione dell'inclinazione dei raggi solari sulla superficie terrestre al variare della latitudine.

Secondo la definizione ufficiale dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), il clima è lo stato medio del tempo atmosferico a varie scale spaziali (locale, regionale, nazionale, continentale, emisferico o globale) rilevato nell'arco di almeno 30 anni. Il cambiamento climatico a cui stiamo assistendo però, provoca mutamenti del clima in maniera sempre più veloce e, riferendosi in particolar modo agli ambienti urbani, l'OMM ha suggerito un aggiornamento dei CLINO (Climate Normals) trentennali a cadenza decennale per gli aspetti operativi di adattamento e mitigazione.

Il clima può essere classificato tenendo in considerazione diversi aspetti e la classificazione di Köppen risulta ancora oggi la più considerata. Così chiamata perché creata dall'omonimo climatologo nel 1918, essa si basa su dati di temperatura e precipitazione (medie mensili e annuali) e i limiti delle zone climatiche sono definiti dalla distribuzione della vegetazione naturale determinando una stretta corrispondenza tra la distribuzione della vegetazione spontanea e le condizioni climatiche nelle varie regioni della Terra. Attraverso questa classificazione si possono delimitare diverse aree climatiche, ciascuna caratterizzata da particolari andamenti dei singoli elementi climatici: l'interazione di ognuno determina l'origine di determinati ambienti, i quali a loro volta permettono lo sviluppo di molteplici comunità di esseri viventi.

Per il lavoro qui presentato, l'area d'interesse ha clima di tipo C, temperato subcontinentale.

2.2 GLI INDICATORI CLIMATICI

Sono molteplici i fattori climatici in evidente cambiamento e tra questi, quelli che possiamo considerare più rilevanti sono una intensificazione delle precipitazioni e l'aumento dei periodi "caldi". Quest'ultimo è un fenomeno complesso che risulta dall'interazione tra la radiazione solare, la temperatura, l'umidità atmosferica e la ventilazione. Periodi di caldo estremo in estate possono avere serie conseguenze sulla salute umana, in particolare sulla popolazione sensibile (anziani e

bambini in età prescolare) e quella malata. Inoltre, condizioni di caldo intenso e prolungato possono incidere anche su varie attività all'aperto e indoor causando danni e perdite in termini di infrastrutture e servizi ecosistemici. I fenomeni appena citati è possibile studiarli e contrastarli attraverso il calcolo e quindi lo studio di indicatori climatici quantificabili, misurabili e sito riferiti. Quest'ultimi infatti sono parametri derivanti dall'analisi statistica di una o più variabili meteorologiche fondamentali, il cui scopo è descrivere gli aspetti climatologici applicativi di una certa zona. (SI-CU Strumento Informativo Clima Urbano Il Database degli Indicatori Climatici Approccio metodologico, Fondazione OMD).

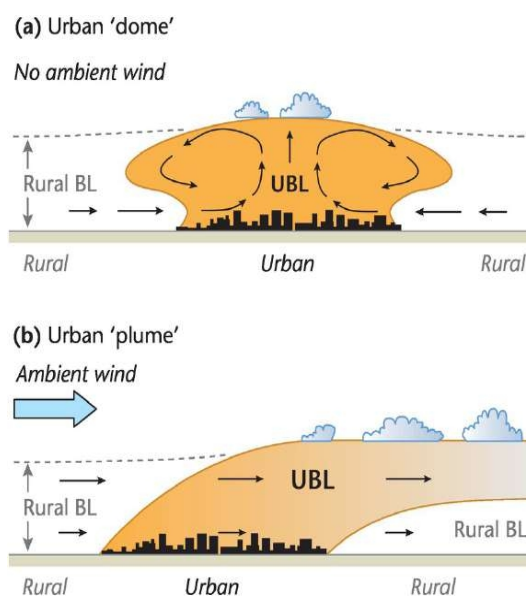
Importante sottolineare che il mutamento del clima in area urbana è condizionato sia dal cambiamento globale in atto che dall'evoluzione della morfologia e della fisiologia urbana, ambedue presumibilmente in più rapida evoluzione dello stesso cambiamento climatico globale e regionale.

2.2.1 Indicatori termometrici

A livello di temperatura è importante considerare gli indicatori di Isola di Calore e Ondata di Calore.

Spesso indicata con l'acronimo inglese UHI (Urban Heat Island), l'Isola di Calore si può definire come un'area delimitata da isoterme chiuse e sovrastata nei bassi strati atmosferici da aria significativamente più calda rispetto a quella delle zone circostanti. Essa è un fenomeno determinato dalle caratteristiche di ogni contesto urbanizzato ed esteso allo stesso spazio urbano, ed è più frequente e intensa nelle stagioni invernale, estiva e, in generale, in situazioni di forte stabilità atmosferica.

Figura 2.1: schema struttura UHI



Il termine deriva per analogia tra la configurazione delle isoterme e quella delle curve di livello topografiche di un'isola e consiste nella propagazione del calore sia verticalmente a formare una cupola (urban dome) in condizioni di calma, o un pennacchio caldo (urban heat plume) sottovento in condizioni ventilate a scala meso-sinottica (Figura 2.1). Le cause fisiche di questo fenomeno risiedono, a parità di condizioni esterne (situazione meteorologica):

- nella generazione di calore antropogenico in città, dovuto ad attività produttive o sociali (produzioni industriali, riscaldamento, raffrescamento, traffico, ecc.);

- nella diversa velocità di raffreddamento notturno tra superfici orizzontali urbane e rurali, dovuta alla diversa emissività;
- nella capacità termica delle superfici urbane esposte alla radiazione solare, che hanno in genere una minore albedo;
- nell'attenuazione del vento nei cosiddetti canyon urbani.
- negli effetti geometrici che aumentano l'efficienza del riscaldamento radiativo diurno (Urban Canyon Effect), tramite riflessioni e assorbimenti principalmente da parte delle superfici verticali (pareti degli edifici);

L'Ondata di Calore (OC) invece, è un episodio in cui temperature estreme diurne e notturne sono maggiori del 95°percentile locale, per almeno 2 o più giorni consecutivi. (Fonte: WMO-WHO, "Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development", 2015). La presenza di isole di calore rende più intense le ondate di calore nelle città.

Infine, sono stati considerati anche il Grado Giorno (GG) e il Grado Giorno Estivi (GGE). Il primo è definito dal vigente DPR 412/93 e s.m.i. come l'indicatore correlato al fabbisogno energetico da riscaldamento in funzione del clima della località specifica. Il DPR 412/93 attribuisce 2404 Gradi Giorno a Milano e ad alcune delle località ricadenti nell'area territoriale del progetto ClimaMi per la stagione termica invernale (dal 15 ottobre al 15 aprile). Per analogia con la stagione termica nazionale e come in uso nei paesi anglosassoni (Cooling Degree Days), si è introdotto il Grado Giorno Estivo. Poiché nei climi di tipo continentale marittimo e in particolare in Val Padana, il disagio termico e la necessità di condizionamento sono legati all'afa, ovvero non solo ai valori raggiunti dalla temperatura ma anche dai tassi di umidità dell'aria, si è formulato il Grado Giorno Estivo in funzione sia della temperatura che dell'umidità relativa dell'aria combinati in un indice empirico capace di quantificare la percezione di caldo da parte dell'uomo, l'indice Humidex. Tale indicatore evidenzia le situazioni di disagio fisiologico umano in presenza di elevate temperature ed alti tassi di umidità: valori superiori a 35 °C indicano malessere intenso, mentre valori superiori a 40 °C sono segnale di pericolo per la salute. Di seguito i calcoli ([Linee Guida-v.2.0 del 15/12/2020](#)):

$$GG = \sum_1^n (20 - T_{media});$$

$$GGE = \sum_1^n (Humidex - 25)$$

$$Humidex = T + \frac{5}{9} * (6.11 * \frac{UR}{100} * 10^{\frac{7,5*T}{(237,7+T)}} - 10);$$

2.2.2 Indicatori pluviometrici

Le precipitazioni, a differenza delle altre variabili meteorologiche fondamentali, sono altamente variabili nello spazio e nel tempo, in particolare nelle stagioni tardo primaverile ed estiva in cui

assumono carattere temporalesco (durate sub-orarie e dimensioni dell'ordine del km). Inoltre, i grandi centri urbani, caratterizzati da isole di calore rilevanti, influenzano le traiettorie delle celle temporalesche e la distribuzione spaziale delle precipitazioni entro la città stessa. Per quanto riguarda il lavoro di tesi, è stata data particolare importanza agli indicatori di precipitazione cumulata media, ai giorni di pioggia e ai giorni senza pioggia. La precipitazione cumulata media è calcolata a partire dai valori di precipitazione cumulata giornaliera e un giorno di pioggia è da considerarsi tale quando si verifica almeno 1 mm di cumulado nelle 24 ore (al contrario, un giorno senza pioggia equivale ad un valore minore a 1 mm). Attraverso il loro studio si può ottenere un profilo pluviometrico a scala locale, in maniera tale da analizzare la distribuzione dei cumulati e degli eventi intensi con la loro rispettiva variazione di intensità.

2.3 GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) E QGIS

Utile nella rappresentazione e nello studio di fenomeni umani e naturali terrestri, il GIS o Geographic Information System è un sistema informativo computerizzato con lo scopo di archiviare, gestire, analizzare e presentare dati in un contesto topologico e spaziale. Nel GIS il dato, detto dato geografico, è costituito da una componente geometrica (di forma), da una componente di attribuzione e da una di relazione tra oggetti (topologia) necessaria per compiere l'analisi spaziale. Esso non è altro che l'identificazione di un oggetto localizzato sul territorio (visibile o invisibile) attraverso la sua rappresentazione geometrica o fotografica georiferita (localizzata sul territorio) e le informazioni ad esso collegate (es: strade, limiti comunali, località abitate, fiumi, laghi, edifici, zone del piano regolatore, particelle catastali, tralicci, bacini idrografici, ecc.). Tale sistema deve essere visto e concepito come un mondo in continua evoluzione ed è particolarmente importante in quelle applicazioni in cui l'informazione spaziale si fonde con quella temporale. La modificazione del territorio per opera dell'uomo, l'espansione degli insediamenti si evolvono continuamente e non è possibile uno studio ed un monitoraggio efficaci con gli strumenti tradizionali.

I software GIS operano con strati tematici di dati spaziali (layer) semplificandone l'elaborazione e la loro rappresentazione. I layer possono sovrapporsi e interagire tra loro attraverso strumenti di geoprocessing: considerando che ciascuno è associato ad una specifica matrice, con tali strumenti si possono modificare e collegare le informazioni contenute nelle rispettive tabelle attributi. Ciò permette una gestione delle informazioni sotto infiniti aspetti, garantendo l'uscita di risultati precisi e ottimali in base al proprio obiettivo.

Per poter utilizzare questo sistema, esistono diversi programmi informatici e durante il lavoro di tesi è stato utilizzato il Sistema di Informazione Geografica Open Source (QGIS).

3

Metodo applicativo

Analizzando statisticamente l'andamento storico delle temperature medie annuali disponibili per Milano Centro (figura 3.1; [Fondazione OMD](#)) si individuano oggettivamente alcuni punti di discontinuità (changing point) a partire dagli anni '80 che segnano un deciso trend incrementale delle temperature al di là di ogni naturale variabilità meteorologica interannuale (figura 3.1). Uno di questi changing point coincide con il 2010, evidenziando che è significativo e utile fornire una statistica climatica riferita all'ultimo decennio disponibile per parecchi obiettivi progettuali e pianificatori di breve-medio periodo.

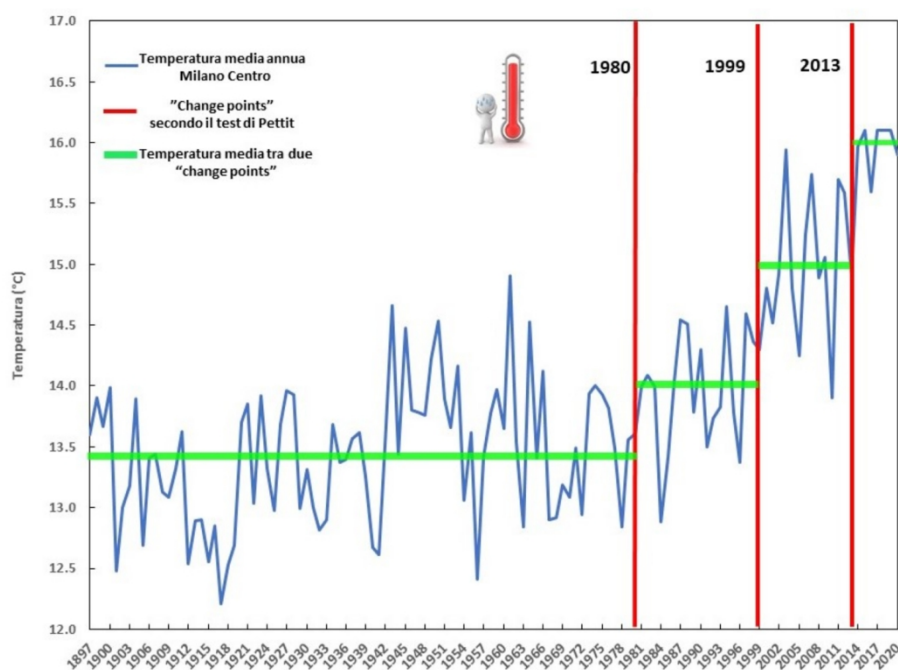


Figura 3.1: andamento storico di temperatura media annuale di Milano Centro (Progetto ClimaMi)

Negli ultimi decenni si riscontra sempre più visibilmente anche una variazione del regime pluviometrico, come emerge dalle analisi statistiche effettuate sulla serie storica 1899-2018 di Milano Brera-Centro: piogge cumulate annue circa costanti ma precipitazioni di maggior intensità e concentrate su periodi più brevi. A prova di ciò è stato verificato che negli ultimi 100 anni la quantità media di mm di pioggia all'anno è pressoché rimasta invariata (figura 3.2), mentre

l'intensità di pioggia si incrementa al tasso medio annuo del 14% (figura 3.3). C'è una variazione anche di redistribuzione dei cumulati a livello stagionale e mensile (figura 3.4): la concentrazione di cumulati nei mesi di novembre appare sempre più in aumento a discapito di ottobre e dicembre; l'andamento è simile ma con minor rilievo nel caso dei mesi di marzo, aprile, maggio e giugno.

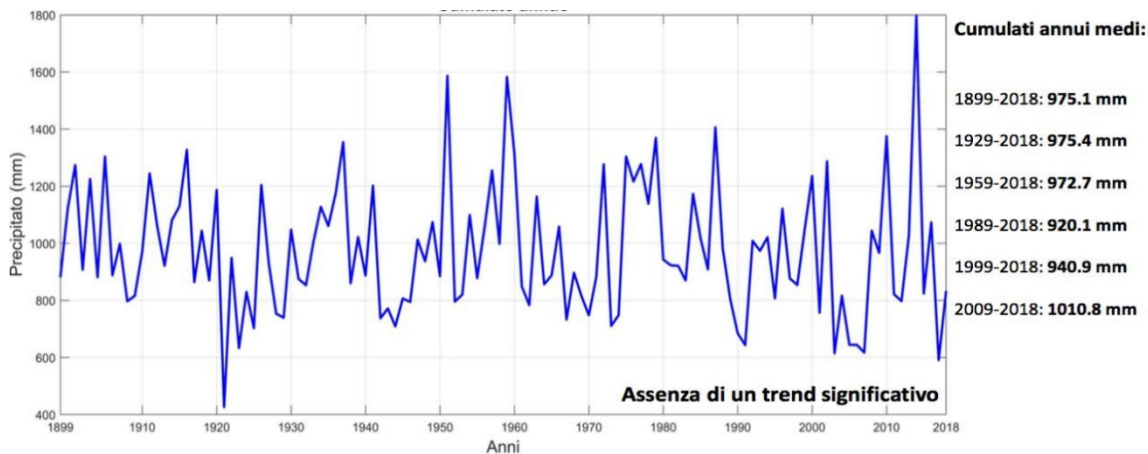


Figure 3.2: andamento storico 1899-2018 dei cumulati medi in Milano - Centro (Fondazione OMD)

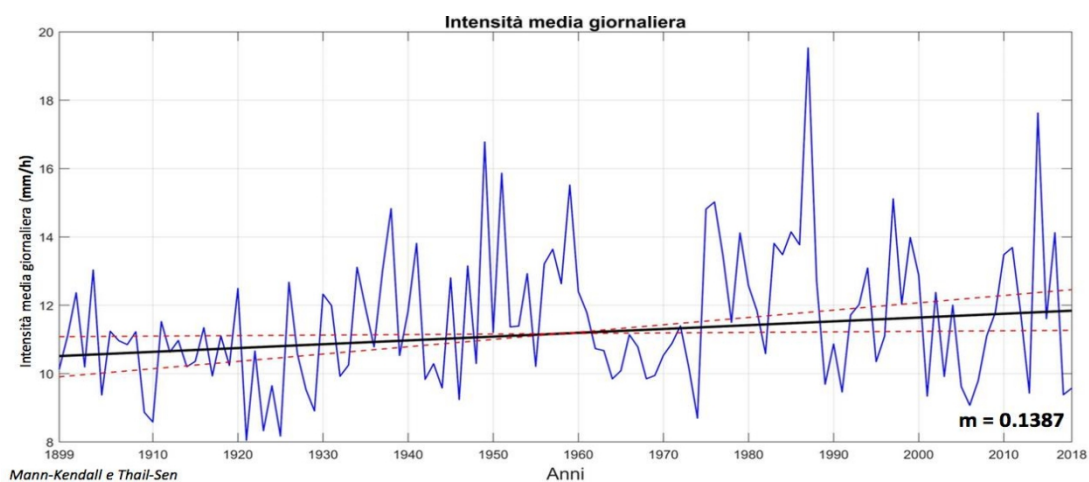


Figure 3.3: andamento storico 1899-2018 intensità media giornaliera Milano - Centro (Fondazione OMD)

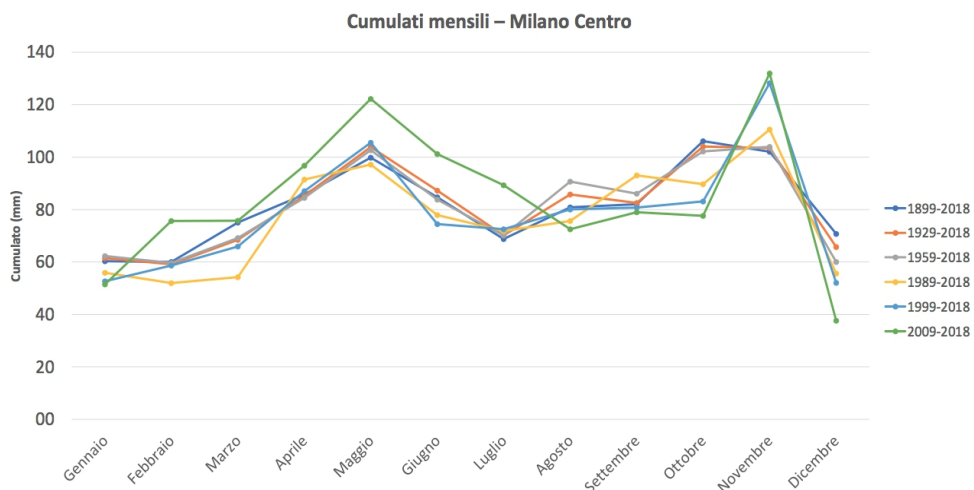


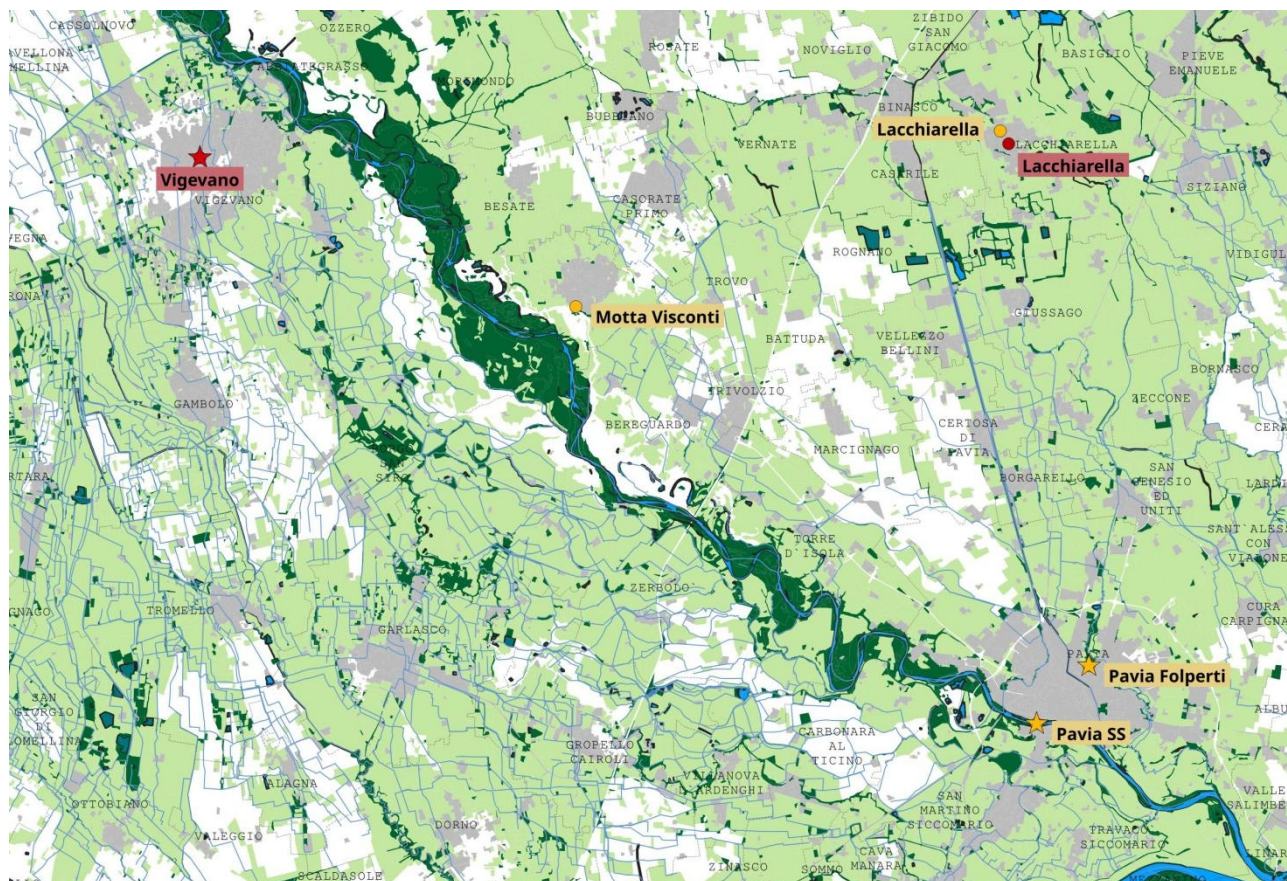
Figure 3.4: confronto dei cumulati mensili 1899 - 2018 (Fondazione OMD)

Il lavoro di tesi si concentra quindi sull'analisi climatica quantitativa e sito riferita del decennio appena trascorso (2012-2020), con riferimento a due problematiche territoriali trattate dai progetti ClimaMi e Hub Lombardia in corso.

3.1 AREA DI STUDIO E IL MATERIALE DI PARTENZA

3.1.1 L'area di studio

L'area d'interesse per l'elaborato comprende la parte Nord della Provincia di Pavia, andando dall'estremo Ovest del territorio rurale vicino a Vigevano, fino alla foce del Ticino nel Po (Mappa 3.1). Mentre per la città di Pavia viene considerato principalmente l'ambiente urbano, per il Vigevanese lo studio si concentra sulle aree rurali ed agricole.



Mappa 3.1: area di studio

Legenda

Livello 1 (DUSAF 2018)

- 1 - Aree Antropizzate
- 2 - Aree agricole
- 3 - Territori boscati e ambienti seminaturali
- 4 - Aree umide
- 5 - Corpi idrici

- Tratti idrici
- Stazioni ARPA
- Stazioni FOMD
- Stazioni prese di riferimento per lo studio
- Comuni

0 2500 5000 m

La Mappa 3.1 mostra inoltre, le stazioni meteorologiche presenti sul territorio, differenziando la rete di appartenenza (ARPA o Fondazione OMD).

La necessità di conoscere il valore del suolo in quanto bene comune, porta alla sua regolamentazione e monitoraggio. Essendo risorsa limitata e non rinnovabile, Essendo risorsa limitata e non rinnovabile, la perdita di terreni boscati o ambienti seminaturali e l'aumento di quelli antropizzati e agricoli portano non solo ad una alterazione delle sue funzioni quali per esempio, la filtrazione dell'acqua, la produzione di cibo e il contenimento di dissesti idrogeologici, ma influiscono enormemente anche sul clima.

Strumenti utili al monitoraggio del suolo sono il Reticolo Idrologico unificato (disponibile dal sito della Regione Lombardia) e il DUSAF (Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali). Mentre il primo costituisce una mappa dettagliata di tutti i corpi idrici presenti nel territorio, il secondo utilizza una legenda articolata in 5 livelli principali di ambito generale, il primo dei quali comprende le 5 maggiori categorie di copertura: aree antropizzate, aree agricole, territori boscati ed ambienti seminaturali, aree umide, corpi idrici (Mappa 3.1). Due ulteriori livelli (quarto e quinto, di ambito locale) rappresentano infine le specificità del territorio lombardo e sono rilevabili anche grazie alle informazioni tematiche della Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (IIT).

3.1.2 Le stazioni meteorologiche

Il punto di partenza dell'elaborato è la consultazione di dati puntuali forniti da stazioni meteorologiche appartenenti all'Agenzia Regionale Protezione Ambiente (ARPA) e alla Fondazione Osservatorio Meteorologico Milano Duomo (Fondazione OMD). In particolare, sono stati consultati gli archivi dati riferiti alle stazioni di Pavia Folperti e Pavia SS35 (ARPA), e di Vigevano Palazzo Comunale (Fondazione OMD), prendendo in considerazione valori raccolti con aggregazione temporale giornaliera, oraria e suboraria (ogni 10 minuti).

Importantissime nella loro funzione di raccolta dati e creazione di Database, le stazioni meteorologiche sono fondamentali per comprendere nel miglior modo possibile l'andamento del sistema climatico su diversa scala. A seconda della necessità alimentano le elaborazioni climatiche a diverso passo temporale, che sia decadale (cioè per ognuna delle 3 decadi che compongono i 12 mesi), mensile, stagionale e annuale.

Con la Fondazione OMD è da far presente lo svolgimento di un lavoro molto più accurato attraverso un contatto diretto durante il lavoro di stage che ha permesso un costante dialogo e scambio di informazioni tra le parti.

Costituita nel febbraio 2015, la Fondazione OMD ha sede a Milano ed è ereditiera di una storia che parte dal lontano 1763, grazie alle prime misurazioni giornaliere dei diversi parametri atmosferici raccolte nel collegio di Brera. Oggi, attraverso le sue 49 stazioni meteorologiche localizzate in tutta Italia, la Fondazione utilizza dati, rilevazioni e osservazioni, per realizzare e promuovere studi di climatologia e meteorologia, in collaborazione con organismi istituzionali e realtà accademiche di rilevanza nazionale ed internazionale supportando l'attività di ricerca e sviluppo nei settori applicativi delle scienze atmosferiche.

3.2 I PROGETTI

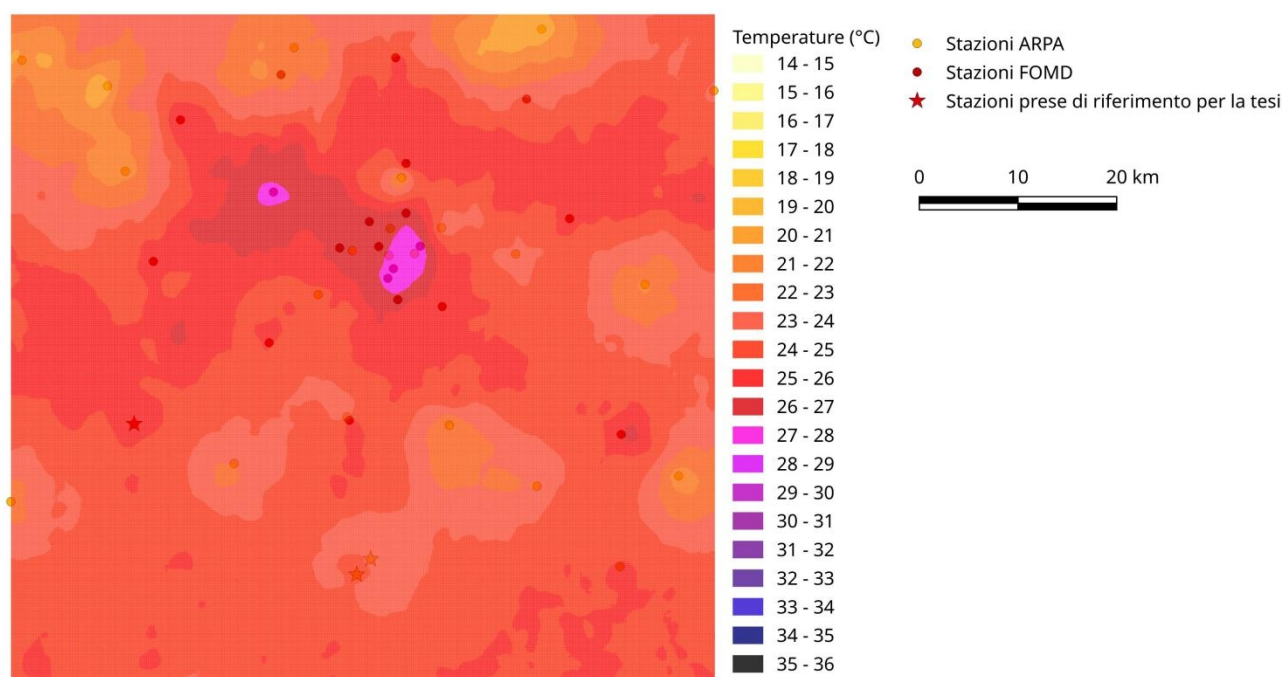
3.2.1 Il progetto ClimaMi. Climatologia per le attività professionali e l'adattamento ai Cambiamenti Climatici Urbani nel Milanese

Coordinato dalla Fondazione OMD, in collaborazione con la Fondazione Ordine degli Ingegneri di Milano, la fondazione dell'ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano e Fondazione Lombardia per l'Ambiente (FLA), il progetto [ClimaMi](#) si concentra principalmente nel bacino aerologico milanese, esteso dall'Alta Brianza al Pavese fino al Po e copre un dettaglio temporale compreso tra dicembre 2012 e novembre 2018. Nasce con l'intento di rafforzare la conoscenza e la consapevolezza delle dinamiche del clima in ambiente urbano e porre il tema dell'adattamento al cambiamento climatico all'attenzione di enti pubblici e privati nonché tra le priorità delle loro attività professionali. L'anello di congiunzione tra tale progetto e il territorio analizzato durante il lavoro qui presentato è il complesso industriale abbandonato della nota fabbrica Necchi nel comune di Pavia, oggetto di un processo di rigenerazione urbana appena iniziato. L'area infatti, copre circa 12 ettari di terreno e soddisfa i principali requisiti per essere oggetto del presente studio, tra i quali: la sua posizione nell'urbanizzato di Pavia e l'influenza sull'UHI che potrà esercitare in termini di attenuazione.

Vicina al centro storico e interposta tra più realtà altamente frequentate dalla cittadinanza (Policlinico S. Matteo, Polo Scientifico dell'Università degli Studi di Pavia, stazione ferroviaria e autostazione), l'area ex Necchi sarà oggetto di una riqualifica e comporterà lo smaltimento di tutti i materiali e sostanze inquinanti con la conseguente bonifica della zona (come spiegato nell'intervento dell'ingegnere e socio della società Pv01 Re Srl Paolo Signoretti, durante la seduta della [Giunta Comunale il 17 febbraio 2020](#)). Al contempo, il suo sviluppo progettuale potrà essere adatto per la sperimentazione di soluzioni innovative e di interventi di mitigazione e adattamento dei cambiamenti climatici ed interesserà e coinvolgerà varie tematiche e professionalità.

ClimaMi inoltre, è stato fonte di una quantità notevole di materiale utile allo studio qui presentato. Primo tra tutti, è stato visto l'impiego di un particolare strumento disponibile da pochi mesi sul Sistema Informativo Clima Urbano (SI-CU) del progetto ClimaMi: l'Atlante Climatico della Temperatura dell'Aria. Esso deriva da interpolazione spaziale dei dati di temperatura al suolo delle stazioni meteorologiche mediante algoritmi di analisi statistica multivariata (co-kriging) che utilizzano, come variabile secondaria, il dato di Land Surface Temperature ricavabile da satellite ([Linee Guida – v.2.0 del 15/12/2020](#), appendice D2).

Sebbene il procedimento implichi complessi calcoli, utili a rendere gestibili i dati raccolti dai satelliti, la creazione dell'Atlante Climatico permette non solo di avere informazioni relative alle temperature su celle 100m x 100m, ma anche di avere informazioni per i centri urbani non dotati di stazione meteo. Nella Mappa 3.2 è riportato un esempio di come appare un layer di temperatura in tutta la sua estensione (l'esempio è riferito alle Isole di Calore medie serali).



Mappa 3.2: UHI medie estive serali (ore 22.00)

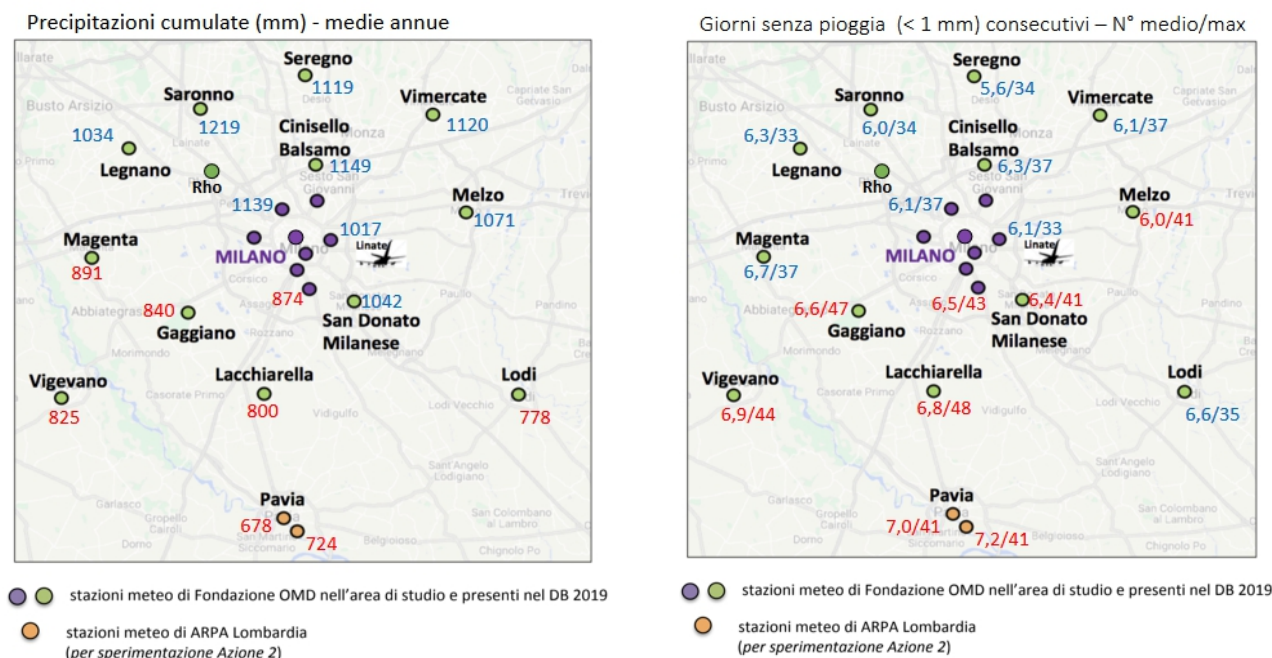
Realizzato in webGIS, permette di consultare e scaricare le distribuzioni spaziali di temperatura dell'aria con risoluzione 100 metri rappresentative di:

- Media e minima stagionali per le Isole di Calore invernali (mattina/sera)
- Media e massima stagionali per le Isole di Calore estive (sera)
- Media e massimo/minimo per Situazione Tipo Climatica
- Media e massima delle Ondate di calore serali
- Media e massima delle Ondate di calore mattutine

Sono disponibili sia l'immagine raster sia il layer vettoriale di temperatura per l'intero dominio o per confini amministrativi. (G. Frustaci et al., 2020).

Nell'elaborato verranno prese in considerazione le UHI medie estive e invernali serali e le OC medie serali per analizzare la situazione termica dell'area urbana di Pavia e dell'area extraurbana di Vigevano (PV).

Ulteriore strumento fornito da ClimaMi è il DataBase di 94 indicatori climatici per ogni stazione e per diversi dettagli temporali (decade, mese, stagione e anno). Per quanto riguarda il lavoro di tesi, è stata data particolare importanza agli indicatori di precipitazione cumulata media, ai giorni di pioggia e ai giorni senza pioggia. Nelle Mappe 3.3 e 3.4 sono rappresentati i valori medi annui delle precipitazioni cumulate e il numero medio e massimo dei giorni senza pioggia su tutto il dominio del progetto, tra cui anche l'area di interesse della tesi.



Mappe 3.2 e 3.4: mappe puntuali di cumulo di pioggia e di giorni senza pioggia

3.2.2 Il progetto Hub Lombardia

Il secondo progetto preso in considerazione nasce dalla collaborazione tra Regione Lombardia e l'Università degli Studi di Pavia e fa parte del più ampio piano di lavoro Circular Economy for Water and Energy CE4WE. Quest'ultimo si focalizza sullo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili, dal punto di vista ambientale, per la gestione dell'acqua e per il monitoraggio del suo ciclo, nonché per la fornitura di energia attraverso lo studio di soluzioni innovative per la valorizzazione di materiali di scarto con un'impostazione di economia circolare. Il lavoro di Hub Lombardia è ancora in fase iniziale di raccolta ed elaborazione dati e si concentra sulla previsione delle variazioni del ciclo dell'acqua in risposta ai diversi scenari climatici. L'obiettivo è poter monitorare il ciclo

idrologico mediante la costruzione di un modello ad hoc del comportamento dell'interfaccia fisica-chimica-biologica costituita dal suolo.

3.3 ELABORAZIONI E RISULTATI

Nei paragrafi successivi sono presentati le elaborazioni dei progetti appena descritti. Visto il particolare andamento delle precipitazioni mostrato nelle Mappe 3.3 e 3.4, alla fine verrà mostrato un confronto tra i valori ottenuti per le tre stazioni meteorologiche prese di riferimento. Dalle Mappe infatti, è evidente in direzione Nord Est - Sud Ovest una diminuzione di cumolato medio annuo accompagnata da un aumento di giorni siccitosi.

3.3.1 *Analisi su Pavia e l'ambiente urbano*

La sperimentazione di soluzioni per l'adattamento e la mitigazione dei cambiamenti climatici, applicata alla rigenerazione della ex Necchi, offrirà l'opportunità di lavorare sia alla scala urbanistica che a quella edilizia (progettazione sistema edificio-impianto) passando dalla progettazione delle infrastrutture di connessione alla progettazione degli spazi pubblici. Inoltre, permetterà di trattare i temi dell'invarianza idraulica e del controllo/riutilizzo delle acque pluviali.

Il lavoro di tesi si è quindi concentrato sull'analisi climatica quantitativa del comune di Pavia, con particolare attenzione all'urbanizzato e all'area ex Necchi di Pavia ed altre aree da rigenerare. A tal scopo sono stati calcolati molti degli indicatori climatici del [DataBase ClimaMi](#) per le stazioni meteorologiche ARPA in Pavia (non incluse nel medesimo DataBase):

1. Pavia via Folperti (45.19467609907785° N, 9.164638300630086° E) in un'area a tessuto residenziale discontinuo, appena fuori dal centro storico;
2. Pavia SS 35 (45,18062204522296° N; 9,14666411623237° E) sulla Strada Statale 35 dei Giovi, sul ponte della Libertà attraversante il Ticino.

Per alcuni indicatori, sono stati trattati non solo i valori giornalieri, bensì anche orari e suborari, ovvero rilevati a intervalli di 10 minuti. Nello specifico, i dati analizzati sono riferiti a temperatura, umidità, precipitazioni, vento e radiazione solare.

La Tabella 3.1 restituisce i valori degli indicatori fondamentali, a livello climatico, ricavati dai valori giornalieri di minima, media e massima per ciascun elemento climatico. Per gli indicatori climatici che si riferiscono a valori estremi (massime e minime assolute, massime consecutività) sono stati considerati gli estremi assoluti rilevati sui 6 anni di progetto, per ogni dettaglio temporale considerato. Negli altri casi invece, gli indicatori sono stati elaborati come medie sui differenti

periodi temporali (decadale, mensile, stagionale, annuale, stagioni termiche), mediando sui 6 anni di progetto.

Tabella 3.1 (indicatori fondamentali Pavia)

Indicatore (valore annuo riferito al periodo dicembre 2012 - novembre 2018)	Pavia Folperti	Pavia SS 35
Temperatura media (°C)	14,4	14,2
Temperatura minima assoluta (°C)	-7,2	-6,3
Temperatura massima assoluta (°C)	36,9	36,5
Temperatura media delle minime (°C)	10,3	10,3
Temperatura media della massime (°C)	19,2	18,5
Umidità relativa media (%)	74,9	Nd**
Umidità relativa minima assoluta (%)	8,1	Nd**
Umidità relativa massima assoluta (%)	100,0	Nd**
Precipitazioni cumulate media (mm)	678,3*	724,6
Radiazione solare globale media (W/m2)	133,3	51,9*
Giorni di pioggia (Precipitazioni ≥ 1 mm) - N° medio	73,3*	81,7
Giorni di Gelo (Temperatura minima < 0°C) - N° medio	31,5	31,0
Giorni di Ghiaccio (Temperatura massima < 0°C) - N° medio	0,2	0,5
Giorni di pioggia consecutivi (Precipitazioni >= 1 mm) - N° massimo assoluto	8,0*	7,0
Giorni senza pioggia consecutivi (Precipitazioni < 1 mm) - N° massimo assoluto	41,0*	41,0
Giorni di pioggia consecutivi (Precipitazioni >= 1 mm) - N° medio	1,9*	1,8
Giorni senza pioggia consecutivi (Precipitazioni < 1 mm) - N° medio	7,0*	7,2
Giorni di Gelo consecutivi (Temperatura minima < 0°C) - N° massimo assoluto	18,0	25,0
Giorni di Gelo consecutivi (Temperatura minima < 0°C) - N° medio	4,0	4,7

*Tali valori potrebbero essere sottostimati a causa della mancanza di oltre il 10% dei dati, per la radiazione solare si supera il 50% dei dati mancanti.

**Nd: valore non disponibile per la mancanza di igrometro

Sotto l'aspetto termico, si può notare come mediamente la stazione di Pavia via Folperti risulta leggermente più calda (14,4 °C e 36,9 °C rispettivamente per le medie e massime di Pavia Folperti in relazione ai 14,2 °C e 36,5 °C di Pavia SS 35), tuttavia è anche quella che fa registrare il valore minimo assoluto di temperatura nel periodo considerato (-7,2 °C rispetto ai -6,3 °C di Pavia SS 35). A livello di precipitazioni, il cumulato medio annuo di Pavia SS 35 risulta superiore rispetto a quello di Pavia via Folperti (724,6 mm rispetto ai 678,3 mm di via Folperti), così come il numero di giorni di pioggia (cioè con precipitazione cumulata di almeno 1 mm) in cui la stazione in via

Folperti misura 73,30 rispetto agli 81,70 della stazione SS 35. Bisogna tuttavia segnalare che il numero di giorni disponibili per l'elaborazione di Pavia via Folperti, rispetto al valore teorico, è dell'89.6%, quindi tali indicatori potrebbero risultare sottostimati per questa stazione.

Tabella 3.2 (eventi termici estremi)

Indicatore (valore annuo riferito al periodo dicembre 2012 - novembre 2018)	Pavia Folperti	Pavia SS35
Giorni di Calura (Temperatura massima > 30°C) - N° medio	60,0	43,3
Notti Tropicali (Temperatura minima > 20°C) - N° medio	33,3	32,8
Giorni di Calura consecutivi (Temperatura massima > 30°C) - N° massimo assoluto	26,0	21,0
Notti Tropicali consecutive (Temperatura minima > 20°C) - N° massimo assoluto	20,0	21,0

Nella Tabella 3.2 sono evidenziati gli indicatori riferiti a eventi termici estremi. Come si può notare risulta molto più elevato il numero medio di giorni con temperatura massima superiore ai 30° C la stazione di via Folperti rispetto a Pavia SS 35.

Per la stessa tipologia di indicatori è stato calcolato anche il numero massimo di giorni consecutivi raggiunto: anche in tal caso si evidenzia come a Pavia via Folperti si raggiunga un numero consecutivo maggiore di giornate con temperatura superiore ai 30 °C; viceversa, Pavia SS 35 è caratterizzata da un numero consecutivo maggiore di giornate con minima negativa (Tabella 3.1).

Il calcolo dei Gradi Giorno (GG) per la stagione termica invernale (Tabella 3.3) mette ulteriormente in luce come la stazione di Pavia via Folperti risulti leggermente più calda rispetto a quella di Pavia SS 35. I GG rappresentano la sommatoria, estesa ad un periodo convenzionale (stagione termica invernale) e mediata poi sui 6 anni, delle sole differenze positive tra la temperatura dell'ambiente, fissata convenzionalmente a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera. Si ricorda inoltre, che il valore dei Gradi Giorno a Pavia, da DPR412/1993, è stimato essere 2623: una differenza di circa +400 Gradi Giorno rispetto a quanto misurato nell'ultimo decennio a Pavia SS 35. Ciò mette in evidenza come le stagioni termiche invernali negli ultimi anni siano risultate decisamente più calde rispetto al valore normato (antecedente al 1993).

Tabella 3.3 (indicatori climatici utili per il consumo energetico)

Indicatore (stagione termica invernale)	Stazione Pavia Folperti	Stazione SS35
Gradi Giorno (°C) - totale medio	2209,3	2228,9

Altro indicatore importante per interpretare l'andamento climatico di un centro urbano è l'indice Humidex (Tabella 3.4). Pavia via Folperti è caratterizzata da un numero molto elevato di ore e giornate con Humidex superiore a 35 °C e mediamente, in una estate, i 40 °C vengono raggiunti mediamente per più di 85 ore. Il valore orario massimo registrato, 46.4 °C corrisponde a situazioni di grave pericolo per la salute. L'Humidex è stato utilizzato per calcolare i Gradi Giorno Estivi (GGE) e Pavia presenta un totale medio di GGE a stagione di 400.5°C; a titolo di confronto tale valore a Milano è di 353.9 °C GGE. A causa dell'assenza dell'igrometro non è possibile calcolare gli stessi indicatori per la stazione di Pavia SS 35.

Tabella 3.4 (Indicatori climatici per caratterizzare il benessere della popolazione nonché i consumi energetici in estate)

Indicatore (Indicatori derivati da temperatura e umidità, calcolati sull'estate meteorologica (giugno, luglio, agosto))	Pavia Folperti	Pavia SS35
Humidex medio giornaliero (°C)	28,8	Nd**
Giorni con Humidex orario ≥ 40°C - N°medio	15,0	Nd**
Ore con Humidex ≥ 40°C - N° medio	85,3	Nd**
Giorni con Humidex orario ≥ 35°C - N°medio	53,5	Nd**
Ore con Humidex ≥ 35°C - N° medio	422,5	Nd**
Gradi Giorno Estivi (°C) - totale medio	400,5	Nd**

**Nd: valore non disponibile per la mancanza di igrometro

Relativamente all'interazione tra uso del suolo urbano e distribuzione spaziale di temperatura, la Mappa 3.5, sono presentate al dettaglio le aree antropizzate fino al livello 5 (le aree bianche non sono identificate).

Nella Mappa 3.6, invece, viene evidenziato come la struttura di un centro urbano influenzi la distribuzione delle temperature, andando a formare l'isola di calore. Nel caso di Pavia, si può notare una temperatura più alta (tra i 24 e i 25°C) che coinvolge il centro storico, in direzione del Borgo Ticino, fino ad arrivare al comune di S. Martino. Quest'ultimo probabilmente influisce sulle temperature a causa della sua vicinanza con Pavia e alla presenza al suo interno di vaste aree commerciali. Il DUSAF inoltre, mostra come la presenza di terreno agricolo e rurale tutt'intorno al capoluogo di provincia permetta una riduzione di circa 1°C nelle aree periferiche, specialmente a Nord-Est, dove la periferia del centro urbano è attraversato dalle rogge di Vernavola e Vernavolino. All'interno della città è visibile la capacità del Naviglio ad ammortizzare le temperature di circa 1 °C, cosa che invece non avviene per il Navigliaccio (a Ovest del centro urbano). La differente azione dei due canali sulla città, può essere associata al fatto che mentre il Naviglio sia affiancato da un viale più ampio e sia vicino al parco del Castello e l'Orto Botanico (spazi ulteriori che

garantiscono una maggior microcircolazione dell'area), il Navigliaccio passa per un lungo tratto dietro ad aree industriali e ferrovia.

Andando a visualizzare la Mappa 3.7, è visibile come le Ondate di Calore (OC) seguono una distribuzione simile alle UHI ed accentuano l'area della Stazione Ferroviaria e del Policlinico S. Matteo (Est del centro urbano). Le temperature particolarmente elevate (27-28°C) sono distribuite infatti sulla parte della città adibita per il traffico su rotaia, ma anche su gomma (capolinea dei pullman di linea e autobus urbani). Appena fuori a questa zona si vede la diminuzione graduale verso l'esterno del centro urbano. Come per le UHI, si ha la presenza di un'area comprendente zona abitativa di Pavia fino al comune adiacente di S. Martino con temperature tra i 26 e i 27°C, infine è visibile come la presenza di campi agricoli riduca ulteriormente di 1°C la media delle OC.

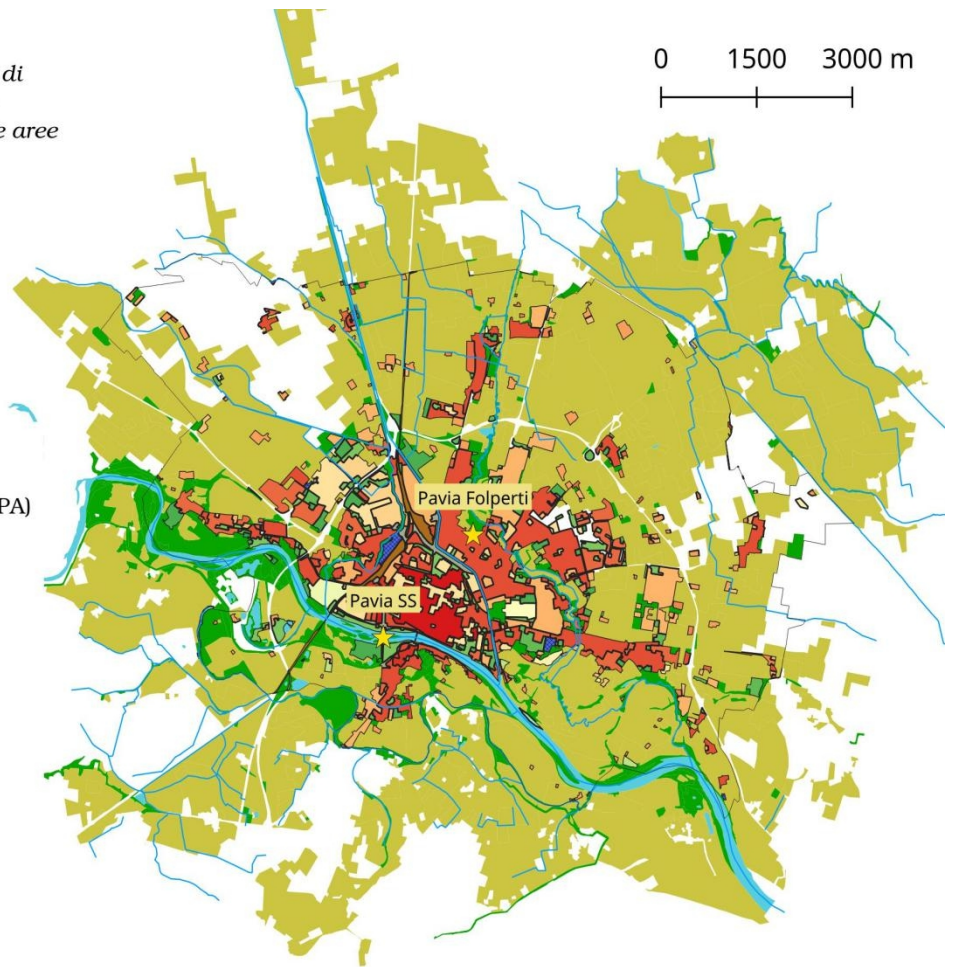
L'area ex-Necchi (a Nord-Ovest di Pavia) si trova all'intersezione tra due diverse isolinee di temperatura. La sua rigenerazione dunque, potrebbe agevolare una migliore distribuzione del calore, ridistribuendo e ammortizzando il fenomeno delle OC. L'aggiunta di un quartiere improntato sull'ecosostenibilità con nuove aree verdi, garantirebbe uno spazio più ombreggiato, incrementando l'azione dell'evapotraspirazione delle piante e permettendo una riduzione dell'albedo con conseguente attenuazione delle temperature nella stagione più calda. Inoltre, il collegamento con viali e piste ciclabili, se opportunamente direzionati in modo da creare microcircolazioni urbane, alle restanti zone cittadine comporterebbe la creazione di veri e propri "corridoi" per la redistribuzione delle temperature. Tale concetto andrebbe sempre più applicato alle aree industriali dismesse e degradate: il DUSAF evidenzia per esempio un'altra zona di tale categoria dietro la ferrovia che, se rigenerata e riutilizzata potrebbe avere ulteriore impatto positivo sul clima di Pavia, attraverso una microcircolazione dell'aria e la presenza di eventuali aree verdi.

Mapa 3.5: DUSAF 2018 comune di Pavia; sotto il dettaglio del centro urbano con la classificazione delle aree antropizzate

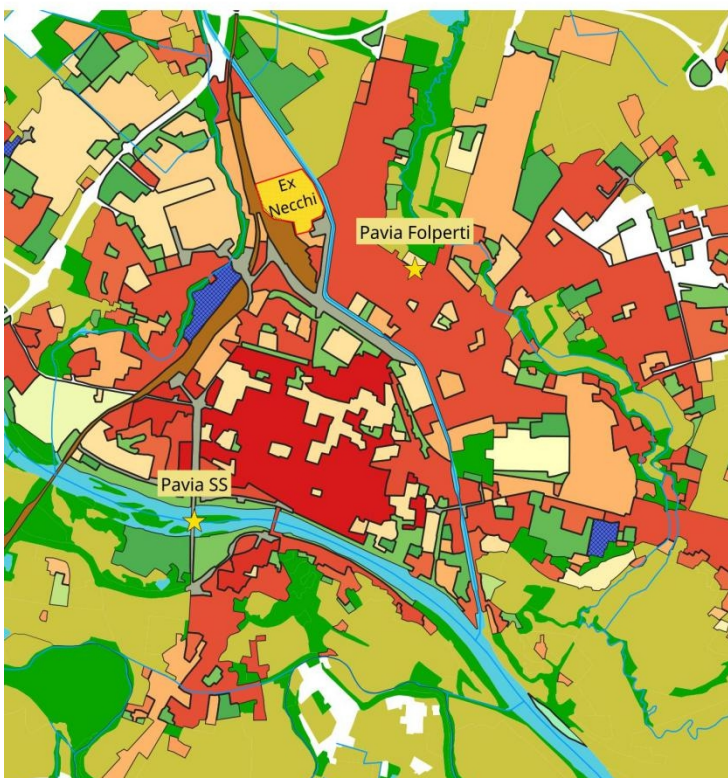
0 1500 3000 m

Legenda

- ★ Stazioni meteorologiche (ARPA)
- Comune di Pavia
- Aree agricole
- Terreni boscati e ambienti seminaturali
- Aree umide
- Corpi idrici
- Tratti idrici

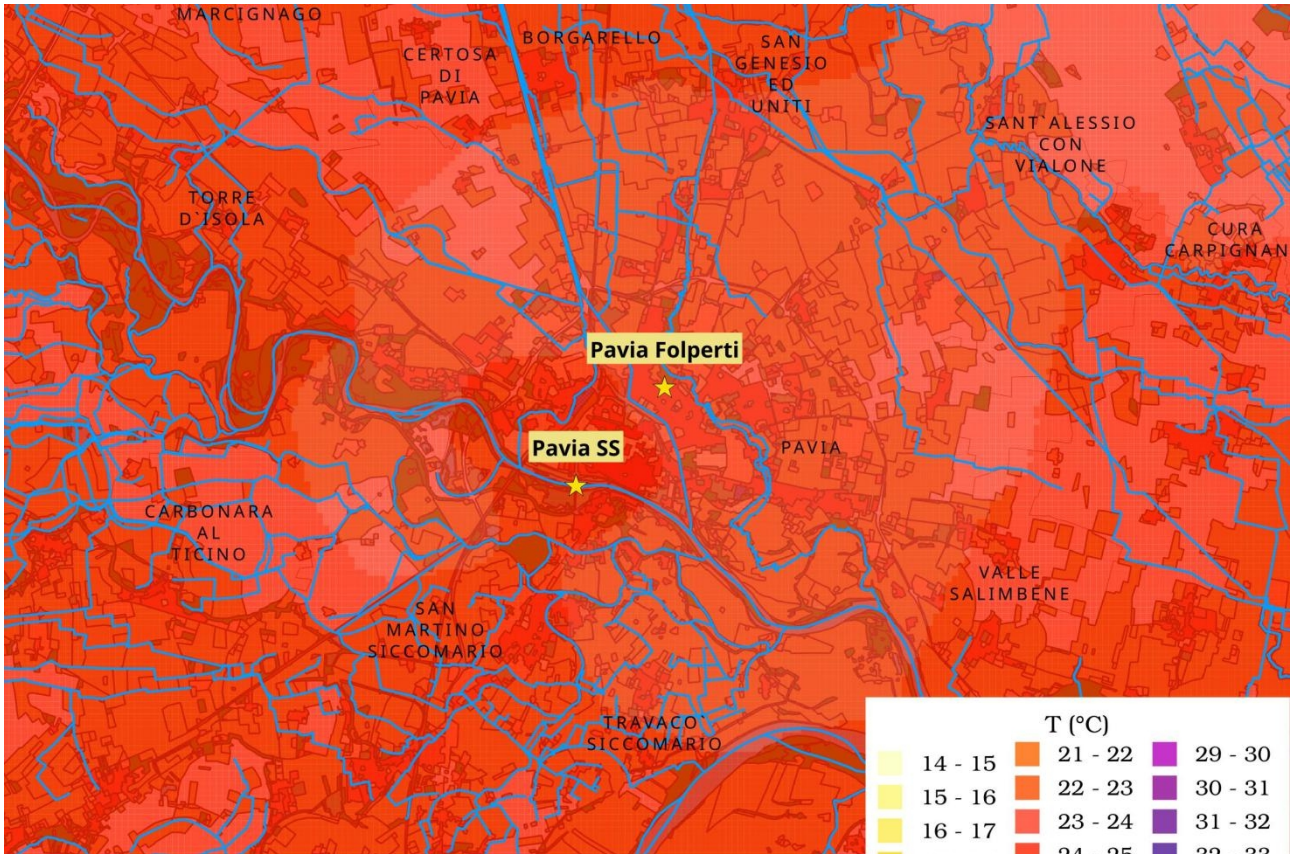


0 300 600 m

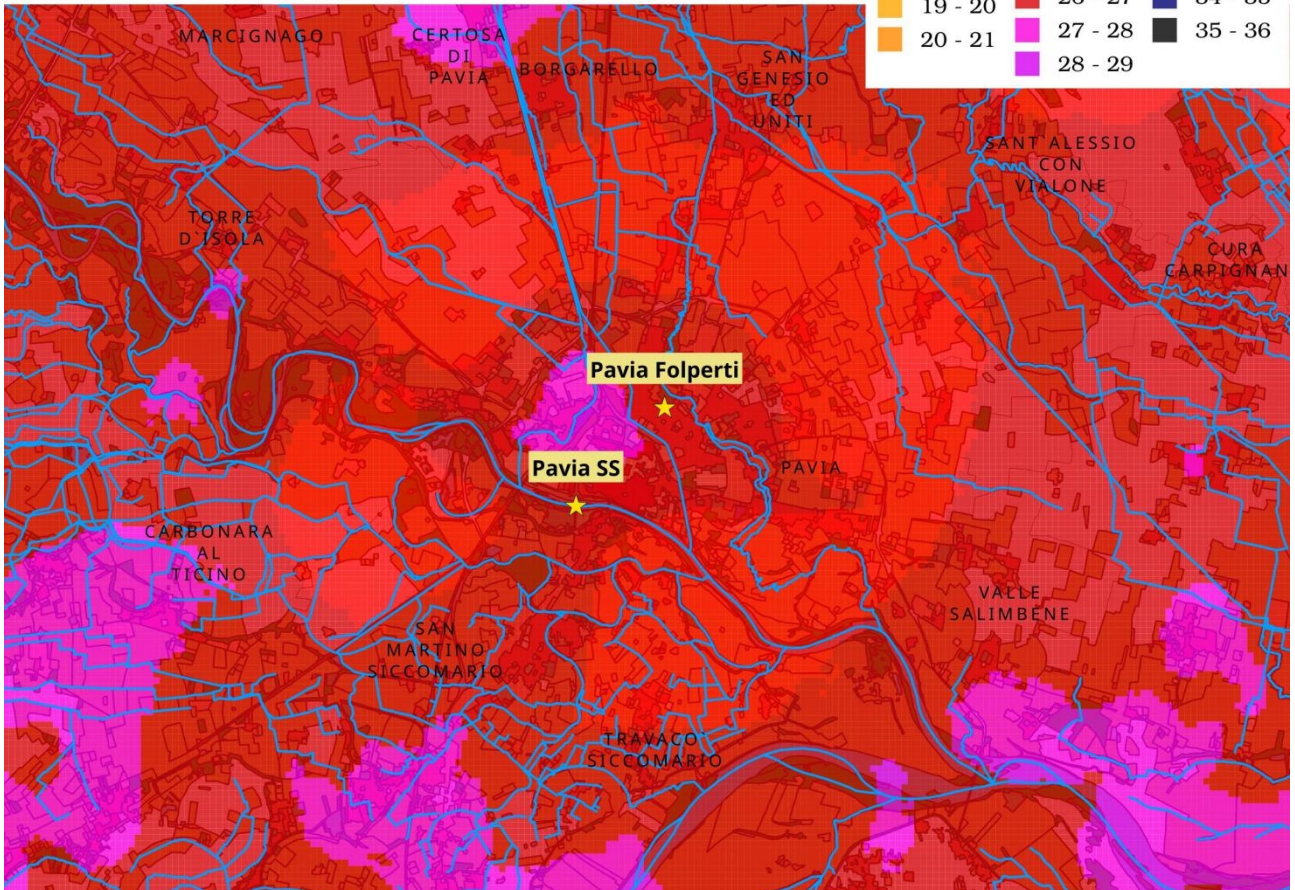


Area antropizzata

- 1111 - Tessuto residenziale denso
- 1112 - Tessuto residenziale continuo mediamente denso
- 1121 - Tessuto residenziale discontinuo
- 1122 - Tessuto residenziale rado e nucleiforme
- 1123 - Tessuto residenziale sparso
- 11231- Cascine
- 12111 - Insedimenti industriali, artigianali, commerciali
- 12112 - Insedimenti produttivi agricoli
- 12121 - Insedimenti ospedalieri
- 12122 - Impianti di servizi pubblici e privati
- 12123 - Impianti tecnologici
- 12124 - Cimiteri
- 12125 - aree militari obliterate
- 1221 - Reti stradali e spazi accessori
- 1222 - Reti ferroviarie e spazi accessori
- 133 - Cantieri
- 134 - Aree degradate non utilizzate e non vegetate
- 1411 - Parchi e giardini
- 1412 - Aree verdi incolte
- 1421 - Impianti sportivi
- 1422 - Campeggi e strutture turistiche e ricettive



Map 3.6 (top): UHI medie estive serali (ore 22.00)
 Map 3.7 (bottom): OC medie estive serali (ore 22.00)



3.3.2 Analisi su Vigevano e l'ambiente extraurbano

Il lavoro che qui viene presentato va a toccare un'area ben precisa dell'intero progetto Hub Lombardia, precisamente il territorio della zona compresa tra i due comuni di Vigevano e Abbiategrasso (Mappa 3.8). L'intento è quello di creare il profilo climatico attuale di Vigevano, con particolare attenzione agli aspetti pluviometrici e termometrici.

Per le precipitazioni è stata utilizzata la stazione meteo urbana Vigevano Palazzo Comunale di Fondazione OMD (45,318034°N; 8,859299°E), considerata rappresentativa anche per il contesto extraurbano data la dimensione contenuta della città. Sono stati calcolati e valutati gli indicatori climatici pluviometrici quale apporto al progetto Hub Lombardia per la caratterizzazione degli afflussi meteorici al reticolo idrologico dell'area presa in esame.

Sono stati elaborati anche i dati di temperatura e umidità della medesima stazione sopracitata (periodo dal 27 luglio 2012 al 31 dicembre 2020). Poiché l'interesse è prevalentemente per l'extraurbano rurale e agricolo, sono state fatte anche valutazioni relative alla sovrapposizione tra distribuzione spaziale di temperatura ([Atlante ClimaMi di Temperatura dell'Aria](#)) e uso del suolo ([DUSAF 2018](#) e [Reticolo Idrografico Regionale Unificato](#)). In questo caso, la tesi ha mirato a mostrare come l'area extraurbana rurale e agricola venga influenzata dalla presenza dei centri urbani e come l'insieme possa agire sul ciclo idrologico della zona.

Dalle mappe 3.3 e 3.4 emergono alcune caratteristiche del regime pluviometrico del Vigevanese in relazione all'area più vasta del bacino aerologico in cui si inserisce:

- cumulato medio annuo tra i più bassi dell'area - subiscono un decremento da nord-est (1120 mm a Vimercate) a sud-ovest (678-724 mm a Pavia);
- numero di giorni siccitosi consecutivi tra i più elevati dell'area - differenza di circa 10 giorni tra le città a Nord di Milano (33gg a Legnano) con quelle più a Sud (48gg a Lacchiarella), tra cui Vigevano (44gg) e Pavia (41gg), relativamente ai massimi; media dei giorni consecutivi senza pioggia in aumento andando verso Sud (Pavia in questo caso è quella con il numero medio maggiore di giorni siccitosi).

La Tabella 3.5 mostra gli indicatori climatici considerati e calcolati coi dati appartenenti alla stazione meteo di Vigevano.

Tabella 3.3 (indicatori fondamentali per Vigevano)

Indicatore (valore annuo riferito al periodo dicembre 2012 - novembre 2018)	Stazione Vigevano
Temperatura media (°C)	14,9
Temperatura minima assoluta (°C)	-6,3
Temperatura massima assoluta (°C)	39,0

Temperatura media delle minime (°C)	10,8
Temperatura media delle massime (°C)	20,0
Precipitazioni cumulate media (mm)	825,0
Giorni di pioggia (Precipitazioni ≥ 1 mm) - N° medio	66,4
Gradi Giorno Invernali (°C) - totale medio	2113,0
Gradi Giorno Estivi (°C) - totale medio	349
Giorni con Humidex orario ≥ 35°C - N°medio	36,8
Umidità relativa media (%)	66,1

Andando nel dettaglio delle precipitazioni rilevate, Vigevano (Tab. 3.5) e Pavia (Tab. 3.1) che presentano rispettivamente cumulati medi annui di 825 mm e 724 mm. Dalle figure 3.5, 3.6 e 3.7 inoltre è possibile analizzare il dettaglio mensile: mentre a Pavia i mesi invernali registrano maggior quantità di mm cumulati, a Vigevano la concentrazione di acqua meteorica si riscontra principalmente nei mesi di maggio e novembre.

Dagli indicatori si nota come Vigevano sia in linea con Pavia (Tabella 3.1) per quanto riguarda le temperature medie e minime annuali, ma come sia leggermente più calda nelle temperature massime. Il confronto tra le due città mostra inoltre che Vigevano sia mediamente meno umida. Andando a confrontare i Gradi Giorno e i Gradi Giorno Estivi (Tabelle 3.3, 3.4 e 3.5), indicatori proporzionali al fabbisogno energetico rispettivamente da riscaldamento e da raffrescamento, si deduce che:

- Vigevano è mediamente più mite rispetto a Pavia nella stagione invernale (2113°C GG contro 2209°C GG)
- Vigevano ha mediamente un livello termoigrometrico più favorevole rispetto a Pavia nella stagione estiva (349°C GGE contro 401°C GGE)

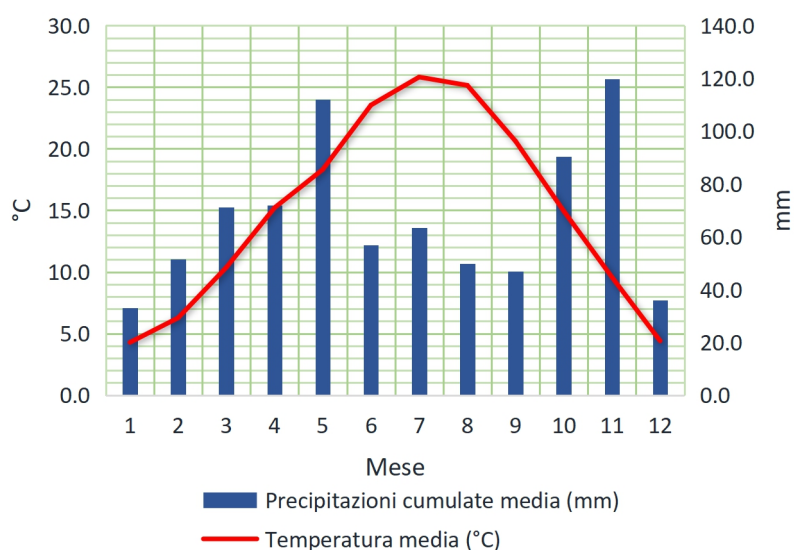


Figura 3.5: andamento di Temperature e Precipitazioni medio mensile Vigevano 07.2012 - 12.2020

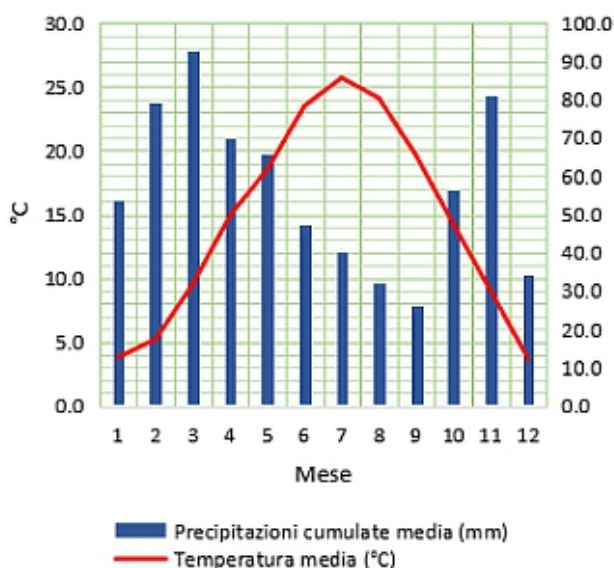


Figura 3.6: andamento di Temperature e Precipitazioni medie mensili Pavia Folperti 12.2012-11.2018

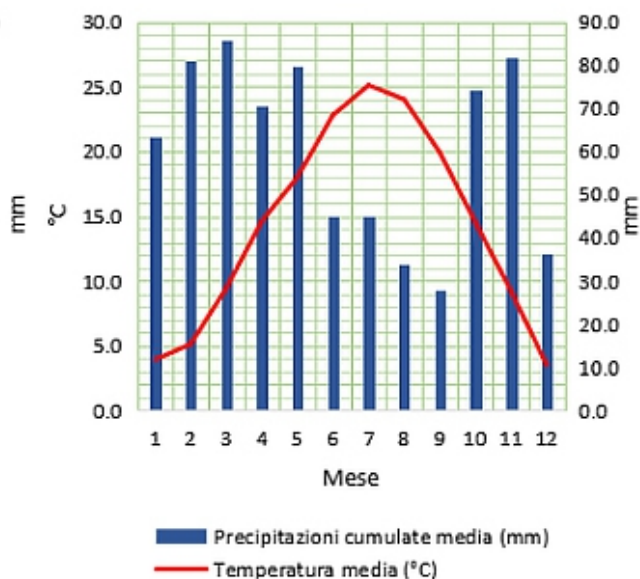


Figura 3.7: andamento di Temperature e Precipitazioni medie mensili Pavia SS 35 12.2012-11.2018*

**I valori delle precipitazioni potrebbero essere sottostimati a causa della mancanza di oltre il 10% dei dati*

Per quanto riguarda l'analisi congiunta della distribuzione spaziale di temperatura dell'aria e uso del suolo, si sono evidenziate le aree boscate e seminaturali, le aree agricole distinte per coltura e i corpi idrici. L'ampia rete di canalizzazione idrica, dettagliata nei suoi elementi principali, risulta ampia, ramificata e vantaggiosa per l'implementazione dei sistemi di irrigazione (vista la vasta superficie dedicata alle risaie e seminativi semplici), ma allo stesso tempo, può incrementare fenomeni di esondazione se mal gestita.

Vigevano è molto vicina al fiume Ticino, il quale ha forza mitigatrice sul centro urbano (Mappe 3.9 e 3.10). In particolare, nelle Isole di Calore estive, si può notare come il Ticino assieme ai due canali, poco più a nord-est, della Roggia Gambarina e del Rio Rile riescano in parte a contrastare le elevate temperature misurate per i due centri urbani. Lo stesso fenomeno accade per il comune di Motta Visconti in maniera ancora più accentuata (Sud-Est dell'area, con stazione meteorologica ARPA).

A nord di Vigevano, l'isola di calore di Abbiategrasso estende la propria influenza verso il vigevanese: non ci fosse il Ticino, con la propria azione mitigatrice, è probabile che le isole di calore delle due città arriverebbero a sovrapporsi. Le aree agricole periferiche ai due comuni attenuano le temperature abbassandole di circa 1°C: dai 25-26 °C dei centri abitati si passa ai 24-25° C nelle zone agricole, fino a toccare i 23-24° C nei territorio più esterni (Mappa 3.10). Nelle

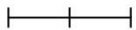
UHI invernali la funzione mitigatrice del Ticino si esplica nel rende le temperature leggermente più calde nei vicini centri urbani di Vigevano e Abbiategrasso, mentre nelle aree più distanti dal fiume si nota un abbassamento dei valori termici (Mappa 3.9).

In estate, in caso di accadimento di eventi estremi quali le Ondate di Calore, emerge l'influenza che anche piccoli conurbazioni esercitano sulla distribuzione spaziale delle temperature (Mappa 3.11): campi agricoli e cascine circostanti risultano interessate dalle alte temperature aventi nuclei in Vigevano e Abbiategrasso; sulle sole condizioni di UHI estiva, invece, le medesime aree agricole determinano una diminuzione delle temperature.

Mappa 3.8: DUSAF 2018 area del vigevanese; nel dettaglio le aree agricole



0 500 1000 m



Legenda

★ Stazioni FOMD

1 - Aree antropizzate

3 - Territori boscati e ambienti seminaturali

4 - Aree umide

5 - Corpi idrici

Tratti idrici

Aree agricole

2111 - Seminativi semplici

2112 - Seminativi arborati

21131 - Colture orticole a pieno campo

21132 - Colture orticole protette.

21141 - Colture floro-vivaistiche a pieno campo

21142 - Colture floro-vivaistiche protette

2115 - Orti familiari

213 - Risaie

221 - Vigneti

222 - Frutteti e frutti minori

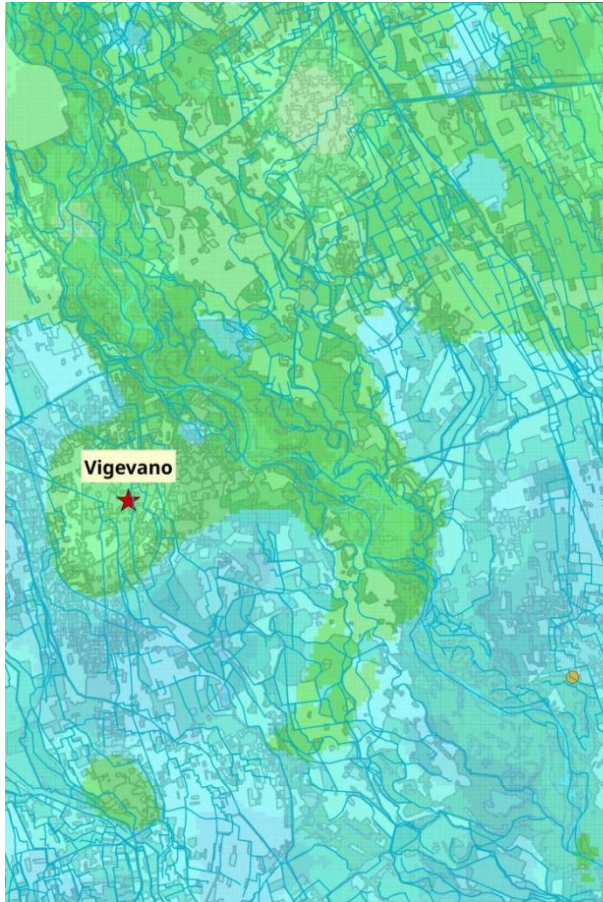
2241 - Pioppeti

2242 - Altre legnose agrarie

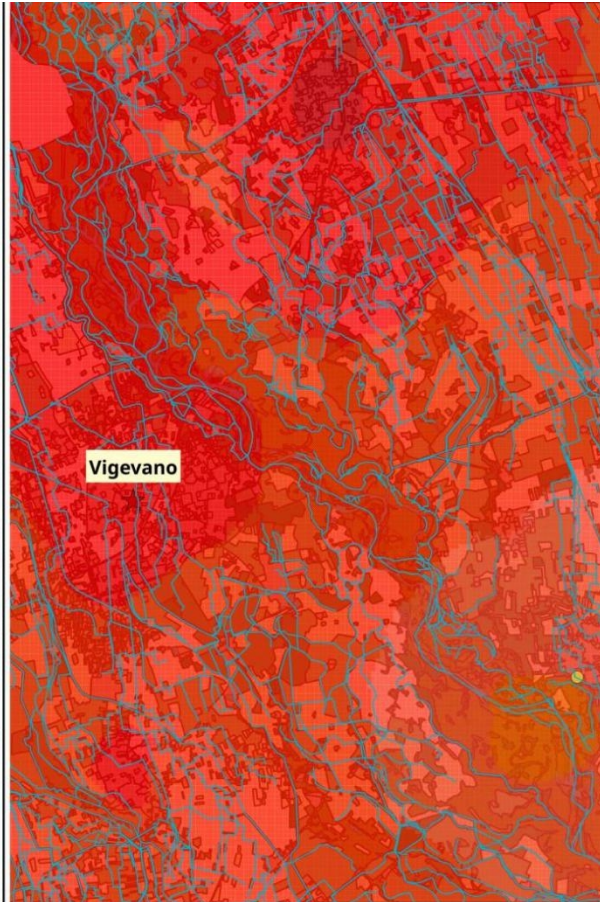
2311 - Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive

2312 - Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse

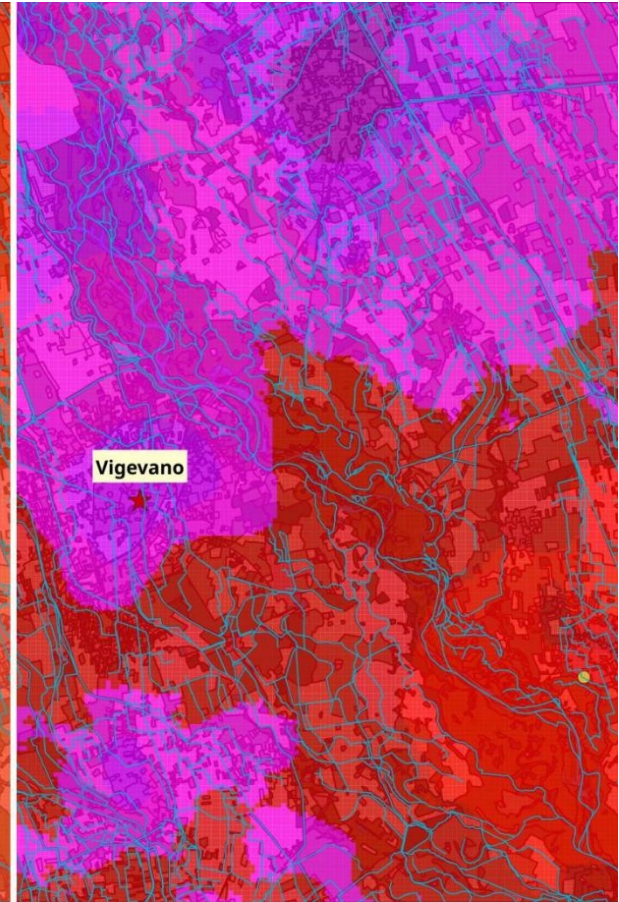
2313 - Marcite



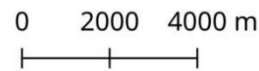
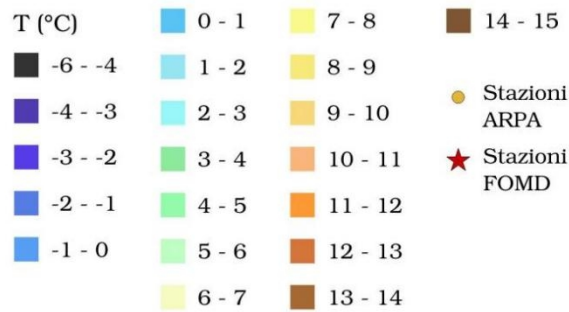
Mappa 3.9: UHI medie invernali serali (ore 22.00)



Mappa 3.10: UHI medie estive serali (ore 22.00)



Mappa 3.11: OC medie estive serali (ore 22.00)



Area
extraurbana
di Vigevano



3.3.3 Appendice indicatori calcolati

Di seguito, l'elenco degli indicatori calcolati durante il lavoro di studio (oltre a quelli già trattati).

- Giorni di Gelo consecutivi (Temperatura min. $< 0^{\circ}\text{C}$) - distribuzione frequenza media
- Giorni di Ghiaccio consecutivi (Temperatura massima $< 0^{\circ}\text{C}$) - distribuzione frequenza media
- Giorni di Calura consecutivi (Temp. max $> 30^{\circ}\text{C}$) - distribuzione di frequenza media
- Notti Tropicali consecutive (Temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$) - distribuzione di frequenza media
- Giorni di Calura con Notti Tropicali (Temperatura massima $> 30^{\circ}\text{C}$ e Temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$) - N° medio
- Giorni di Calura con Notti Tropicali consecutivi (Temperatura massima $> 30^{\circ}\text{C}$ e Temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$) - N° massimo assoluto
- Giorni di Calura con Notti Tropicali consecutivi (Temperatura massima $> 30^{\circ}\text{C}$ e Temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$) - distribuzione frequenza media
- Humidex medio dei massimi assoluti ($^{\circ}\text{C}$)
- Humidex massimo assoluto - valore orario ($^{\circ}\text{C}$)
- Giorni con Humidex orario $\geq 40^{\circ}\text{C}$ - N° medio
- Umidità relativa media delle massime giornaliere (%)
- Umidità relativa media delle minime giornaliere (%)
- Giorno Medio temperatura oraria ($^{\circ}\text{C}$)
- Somme Termiche a soglia 0°C ($^{\circ}\text{C}$)
- Somme Termiche a soglia 5°C ($^{\circ}\text{C}$)
- Somme Termiche a soglia 10°C ($^{\circ}\text{C}$)
- Ore con Umidità relativa media $< 10\%$ - N° medio di accadimenti
- Ore con Umidità relativa media $> 90\%$ - N° medio di accadimenti
- Giorno Medio Umidità relativa oraria (%)
- Giorni di pioggia consecutivi (Precipitazioni $\geq 1 \text{ mm}$) - distribuzione di frequenza media
- Giorni senza pioggia consecutivi (Precipitazioni $< 1 \text{ mm}$) - distribuzione di frequenza media

4

Conclusioni

Partendo da dati meteo grezzi, per arrivare alla loro rappresentazione sul Geographical Information system, l'elaborato vuole mettere in evidenza come l'utilizzo di programmi software sia diventato sempre più necessario per caratterizzare il clima locale e creare degli strati informativi climatici utili per numerose applicazioni relative alla progettazione territoriale, dall'idrologia all'energia, dalla pianificazione urbana alla tutela del benessere e della salute della popolazione negli spazi pubblici outdoor. La creazione e l'analisi di profili climatici incentrati su aree di diverse dimensioni e con diverse caratteristiche di uso del suolo (urbano ed extraurbano) garantiscono una base di partenza per diversi casi di studio esplicativi. A livello naturalistico, è stato visto come il calcolo e la successiva rappresentazioni di indicatori climatici possono aiutare non solo ad avere una panoramica attuale del territorio d'interesse, ma anche a fare pianificazioni e progettazioni utili alla salvaguardia e al mantenimento di molteplici tipologie di territorio, ognuno caratterizzato da una propria ecologia. Mai come in questo momento storico si sta palesando l'urgenza di individuare sistemi innovativi per contrastare il cambiamento climatico in corso e la profonda conoscenza che garantisce l'ambito naturalistico integrata con le nuove tecnologie si rivela di fondamentale importanza: GIS risulta un ottimo strumento per affrontare questo tema permettendo di creare e rappresentare grandi quantità di informazioni e di gestirle sotto molteplici aspetti.

L'accadimento di piogge sempre più intense e concentrate in brevi periodi dell'anno, unito all'azione sempre più intensa e frequente delle Ondate di Calore nei centri urbani sono segnali importanti da considerare per contrastare il cambiamento climatico che sta investendo tutto il territorio in questi ultimi anni. La rigenerazione di spazi finalizzati anche all'attenuazione delle Isole di Calore insieme ad una più completa organizzazione del reticolo idrologico extraurbano potrebbero garantire minor danni provocati da eventi estremi termometrici e pluviometrici. Infine, l'utilizzo e l'integrazione dei dati climatici, sempre più dettagliati a livello spaziale e temporale, negli studi naturalistici potrebbero aiutarci nella valorizzazione delle risorse che il territorio offre garantendo biodiversità e sostenibilità.

Bibliografia

- Giuseppe Frustaci - “Prodotti, sperimentazioni e prospettive: l’Atlante climatico delle temperature. Fondazione Osservatorio Meteorologico Milano Duomo” (26 novembre 2020)
- Cristina Lavecchia - Progetto ClimaMi – “Sperimentazioni d’area per l’adattamento: esperienze del progetto ClimaMi e prospettive future; Progetto di rigenerazione Area ex Necchi di Pavia” (26 novembre 2020)
- Progetto ClimaMi - “LINEE GUIDA all’utilizzo del SI-CU Strumento Informativo Clima Urbano: il Database Climatologico. Versione 1.0” (18 dicembre 2019)
- Fondazione OMD - “SI-CU Strumento Informativo Clima Urbano Il Database degli indicatori climatici. Approccio metodologico”
- WMO-WHO - Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. (2015)
- F. Musco, L. Fregolent - “Pianificazione urbanistica e clima urbano - Manuale per la riduzione dei fenomeni di isola di calore urbano”. (2014)
- L. Mariani, “Risorse e limitazioni climatiche per il verde ornamentale in città”, Corso “Milano, conoscenze e pratiche per l’adattamento climatico” Corso ClimaMi del 7/11/2019
- Mariano Polli, Bruno Sala - “La cartografia oggi in provincia di Trento e i suoi sviluppi futuri”. Bollettino dell’A.I.C. n 117-118-119 / 2003
- Michele T. Mazzucato - “190. Coordinate geografiche e gaussiane, un metodo di trasformazione” tratto da *Matematicamente.it Magazine* n. 20 (settembre 2013).
- Roberta Paolini - “Geografia storica, Gis e internet” (doi: 10.1409/7698). *Contemporanea* (ISSN 1127-070) Fascicolo 3, luglio 2002
- Silvia Ronchi - “IL CONSUMO DI SUOLO”. Learning Week, Rifugio Carlo Porta, Pian dei Resinelli (23 maggio 2014)
- Andrea Arcidiacono, Silvia Ronchi, Stefano Salata - “Consumo di suolo e pianificazione urbanistica: Misure, valutazioni e monitoraggio delle funzionalità ecosistemiche dei suoli nella costruzione del piano”. DASTU Politecnico di Milano; Centro di Ricerca sui Consumi di Suolo – CRCS (25 novembre 2016)

- ERSAF, Regione Lombardia - “USO DEL SUOLO IN REGIONE LOMBARDIA, Atlante descrittivo”. (2010)
- Regione Lombardia, Open Innovation - “[Circular Economy for Water and Energy](#)”.
- Bianchino Antonella, Daniela Fusco , Maria Liguori - “XLI CONFERENZA ITALIANA DI SCIENZE REGIONALI COVID-19: ANALISI DELLE DETERMINANTI DELLA DIFFUSIONE DEL CONTAGIO”. (2020)
- Rapporto Ambiente, Edizione 2018, Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente.
- Regione Lombardia - “[Open Data, Stazioni meteorologiche](#)”. (2021)
- Dante Fasolini, Stefano Manetta, Vanna Maria Sale (Ersaf – Ente Regionale per i Servizi all’Agricoltura e alle Foreste); Marina Credali, Donata Dal Puppo, Alessandra Norcini (Regione Lombardia: Direzione Generale Territorio e Urbanistica); Stefano Agostoni (Regione Lombardia Direzione Generale Sistemi Verdi e Paesaggio) - “DUSAF Destinazione d’Uso dei Suoli Agricoli e Forestali. Struttura e classi rappresentate nella Legenda della cartografia di uso del suolo” www.ersaf.lombardia.it

Ringraziamenti

Le prime persone che voglio ringraziare sono Cristina e Samantha che, assieme al professor Matteo Crozi, mi hanno supportato più del tempo necessario per concludere questa tesi. Un grazie anche alla Fondazione OMD nel suo complesso, sempre attiva in ambito di tutela ambientale, è stata fonte inesauribile di informazioni e idee.

Grazie infinite alle compagne Marta e Giulia che mi hanno sempre incoraggiata, sopportandomi in quei momenti in cui parevo una mosca persa in una stanza a porta spalancata: grazie a voi ho trovato la via d'uscita in molte situazioni di confusione. Vi voglio un mondo di bene e non vedo l'ora di passare altro tempo assieme.

Grazie ad Ale, che con la sua pazienza mi ha ascoltata e, da buon consigliere, è sempre stato pronto a spronarmi appena mi perdevo lungo il tragitto. Grazie anche a Greta che non ha mai perso occasione per farmi ridere e stare di buon umore.

Grazie alla mia famiglia senza la quale non avrei potuto raggiungere mai tale traguardo e, il grazie più grande, va ai miei genitori, Silvia e Mauro, che non hanno mai smesso di credere in me e di starmi vicino: il vostro sostegno e i vostri consigli sono e saranno sempre fondamentali per me.

Infine, grazie al fantastico mondo di Radio Aut e a tutti i compagni che ne fan parte insieme al bellissimo gruppo del Direttivo. A Benni, Carlo (detto Popo), Nico che col loro ingegno riescono a rendere concreti i sogni di chi è pronto a dare più che a ricevere; alle mitiche Giulia, Claudia, Bea e Domenica che dentro Radio ci mettono voglia e passione rendendola sempre più bella; a Fede, Dani (detto DDC) e Guido che con le loro idee e la loro energia fanno di Radio il posto più carico di Pavia, e a Pier, che anche se si fa vedere una volta ogni stagione, quando c'è, non perde l'occasione di rendere Radio il posto più vivace della città.

È stato grazie a voi che ho imparato (e sto ancora imparando) il significato di far parte di un gruppo di compagni, tutti uniti, con la voglia di cambiare il mondo, per far di questa vita una bellissima avventura.

Grazie di cuore.