5. SI-CU – STRUMENTO INFORMATIVO CLIMA URBANO:

il Database Climatologico
l'Atlante delle Temperature dell'Aria
il Catalogo delle Precipitazioni

5.1. Lo Strumento Informativo Clima Urbano SI-CU

Lo Strumento Informativo Clima Urbano SI-CU è una **raccolta di informazioni quantitative sul clima delle aree urbane,** incluse nel dominio del progetto ClimaMi, e si riferisce in gran parte all'ultimo decennio. È stato specificatamente ideato ed elaborato per l'**utilizzo operativo nelle varie attività di pianificazione, progettazione e gestione in ambiente urbano**, fornendo **supporto alle decisioni e dati di input ad algoritmi e modelli progettuali**.

Il SI-CU si compone di:

- il **Database Climatologico**, una banca dati climatici interrogabile per variabile climatica, sito di misura (stazione meteorologica), dettaglio temporale e settore applicativo (par. 5.2);
- l'**Atlante Climatico della Temperatura dell'Aria**, una raccolta di mappe di temperatura ad alta risoluzione spaziale dedicate al fenomeno dell'Isola di Calore Urbana invernale ed estiva e agli eventi estremi di caldo rappresentati dalle Ondate di Calore; restituisce mappe vettoriali ed è consultabile online con funzioni di visualizzazione e sovrapposizione di layer tematici tipo GIS (par. 5.3);
- il **Catalogo delle Precipitazioni**, una banca dati riservata alla caratterizzazione spaziale e temporale dell'attuale regime delle precipitazioni con particolare attenzione agli eventi pluviometrici estremi, alle piogge intense di durata sub-oraria, alla variazione spaziale della statistica descrittiva delle precipitazioni nella città di Milano e nell'intero dominio progettuale; include le curve di probabilità pluviometrica e il calcolo dei tempi di ritorno per eventi di durata sub-oraria (par. 5.4);
- le presenti **Linee Guida** applicative, procedurali e di orientamento sul significato e sull'utilizzo di dati e indicatori climatici nei vari settori applicativi, mirante tra l'altro a unificare i lessici tecnici di settore relativamente alla tematica clima;
- l'**Addendum alle Linee Guida**, una raccolta di riflessioni di stakeholder del progetto ClimaMi sull'uso applicativo dei dati climatici e di dialoghi tra clima, ambiente e architettura;
- i **Quaderni delle sperimentazioni**, che raccontano i casi pilota di interventi progettuali e di pianificazione territoriale che hanno usufruito operativamente degli strumenti del SI-CU:
  - l'Aggiornamento del PGT di Melzo (MI)
  - il Progetto di Rigenerazione dell'area ex-Necchi di Pavia
  - gli interventi di Urbanistica Tattica in alcune piazze di Milano
  - la progettazione di un'opera drenaggio delle acque meteoriche a Canegrate (MI)

In Appendice D è riportata la descrizione dell'impianto procedurale e degli algoritmi di calcolo dello Strumento Informativo Clima Urbano.

Tutti i contenuti sono accessibili come open data sotto licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY-4.0).

5.2. Il Database Climatologico

Puntando per quanto possibile alla completezza delle informazioni climatiche a supporto delle attività pro adattamento ai CC nei diversi settori applicativi, il Database ClimaMi include **92 indicatori climatici afferenti alle problematicità climatiche del territorio urbano e al periodo 2013-2020**.

Tali indicatori sono stati individuati e selezionati dal gruppo di lavoro multidisciplinare del progetto ClimaMi includente climatologi, architetti, ingegneri, urbanisti, agronomi e avvallati dai numerosi stakeholder pubblici e privati del progetto.

Nel complesso, tali indicatori forniscono l'**attuale quadro climatologico del bacino aerologico milanese, specializzato per l'ambito urbano**.

La metodologia sviluppata risulta inoltre facilmente esportabile in altri contesti urbani e metropolitani.

Il Database risulta interrogabile, per passi successivi (Fig. 5.1), rispetto a:

⇒ settore di attività,
⇒ stazione meteo,
⇒ variabile climatica,
⇒ dettaglio temporale

in modo da facilitare la navigazione nella banca dati ed eventualmente fornire un supporto nella selezione degli indicatori.

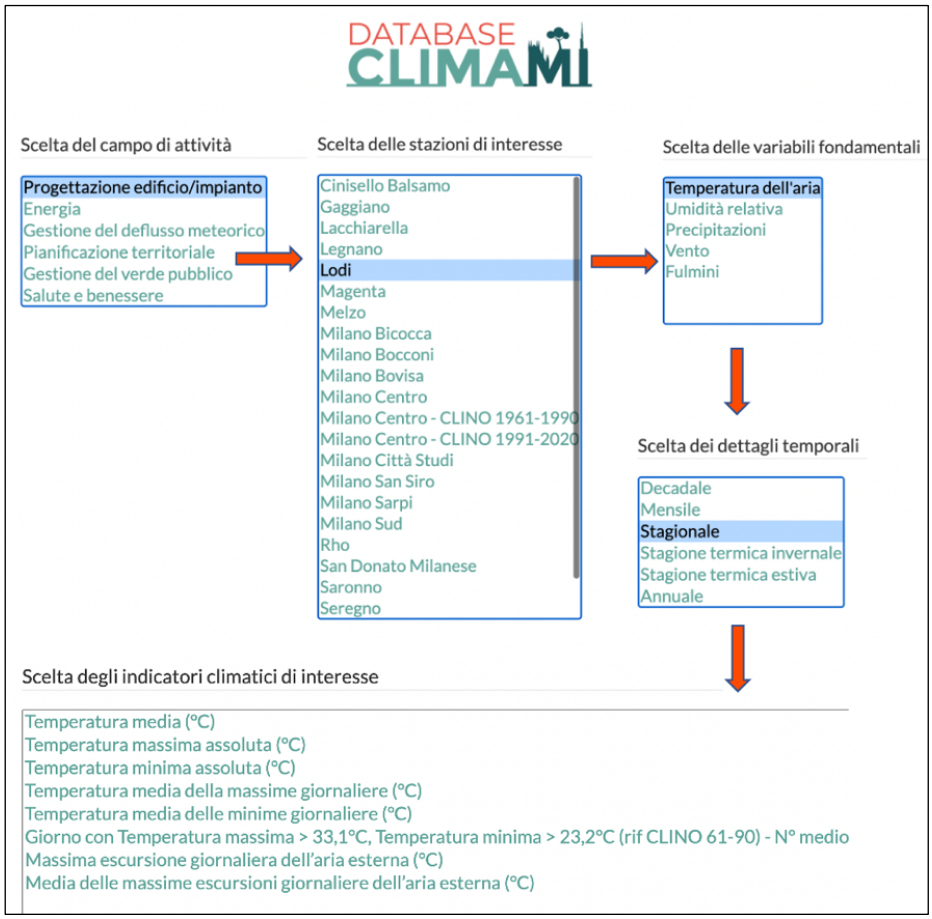

Figura 5.1 Database ClimaMi: schermate di interrogazione e selezione indicatori

Ad eccezione del Campo di Attività, per il quale è possibile la selezione di un'unica tipologia di attività, in tutti gli altri casi (stazioni, variabili fondamentali, dettagli temporali e indicatori climatici) sono fattibili selezioni multiple.

5.2.1 Gli indicatori climatici

Gli indicatori climatici sono parametri statistici derivanti da una o più variabili meteorologiche fondamentali, il cui scopo è descrivere gli aspetti climatologici di una certa zona. I dati meteo da cui sono ricavati devono avere determinati requisiti riassumibili nei seguenti termini[25]:

- alta qualità, intesa come accuratezza e riferibilità agli standard;
- continuità temporale, intesa come percentuale (elevata) di effettiva disponibilità;
- confrontabilità, che dipende da strumentazione e procedure omogenee;
- adeguata distribuzione spaziale, tale da coprire interamente l'area d'interesse e con un campionamento della stessa coerente con la risoluzione richiesta.

Nel Database ClimaMi, oltre alle canoniche elaborazioni statistiche tipiche della climatologia classica, sono presenti indicatori climatici effettivamente utilizzati dai professionisti come input di calcolo nella modellistica o in supporto alle decisioni.

Il Database ClimaMi contiene 92 indicatori climatici riferiti a:

- 6 settori d'attività professionale;
- 7 diverse variabili meteorologiche;
- 21 stazioni del bacino aerologico milanese;
- 6 dettagli o passi temporali climatici.

5.2.2 Scala spaziale e temporale

Ai fini del della valutazione dei cambiamenti climatici l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO) raccomanda il confronto del clima attuale con quello del CLINO 1961-1990, mentre dal 2021 considera il più recente trentennio 1991-2020 come periodo climatico di riferimento standard da utilizzarsi per scopi operativi[26] (rif. par. 3.1). Tuttavia, dallo studio della serie storica di temperature del centro di Milano, emerge una evoluzione del clima urbano ancor più rapida, non solo rispetto alla dimensione globale, ma anche con riferimento all'usuale finestra d'osservazione climatica trentennale: a partire dal 1980, e con una tendenza via via sempre più accentuata, la temperatura media annuale è aumentata di quasi mezzo grado a decennio (Fig. 5.2). È inequivocabile la tendenza all'aumento al di là di ogni normale variabilità meteorologica inter-annuale (l'oscillazione dei valori medi di temperatura, in blu, al di sopra e al di sotto della media climatica, in verde, in Figura 5.2). Dopo il 1980 il clima risulta instabile tanto che ci si sta chiedendo se l'usuale trentennio di riferimento (*CLINO CLImatological NOrmal*) abbia ancora un senso per determinati scopi operativi,

[25] si veda: http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/indicatori-climatici
[26] WMO, Guidelines on the Calculation of Climate Normals, 2017 Edition

come il dimensionamento di un impianto di climatizzazione che dovrà funzionare da qui ai prossimi 20-30 anni.

Per questo motivo riteniamo **importante**, **nelle attività di progettazione e gestione in ambito urbano, rifarsi anche a indicatori climatici riguardanti i periodi più brevi e recenti che tengano adeguatamente conto dei mutamenti del clima in corso**.

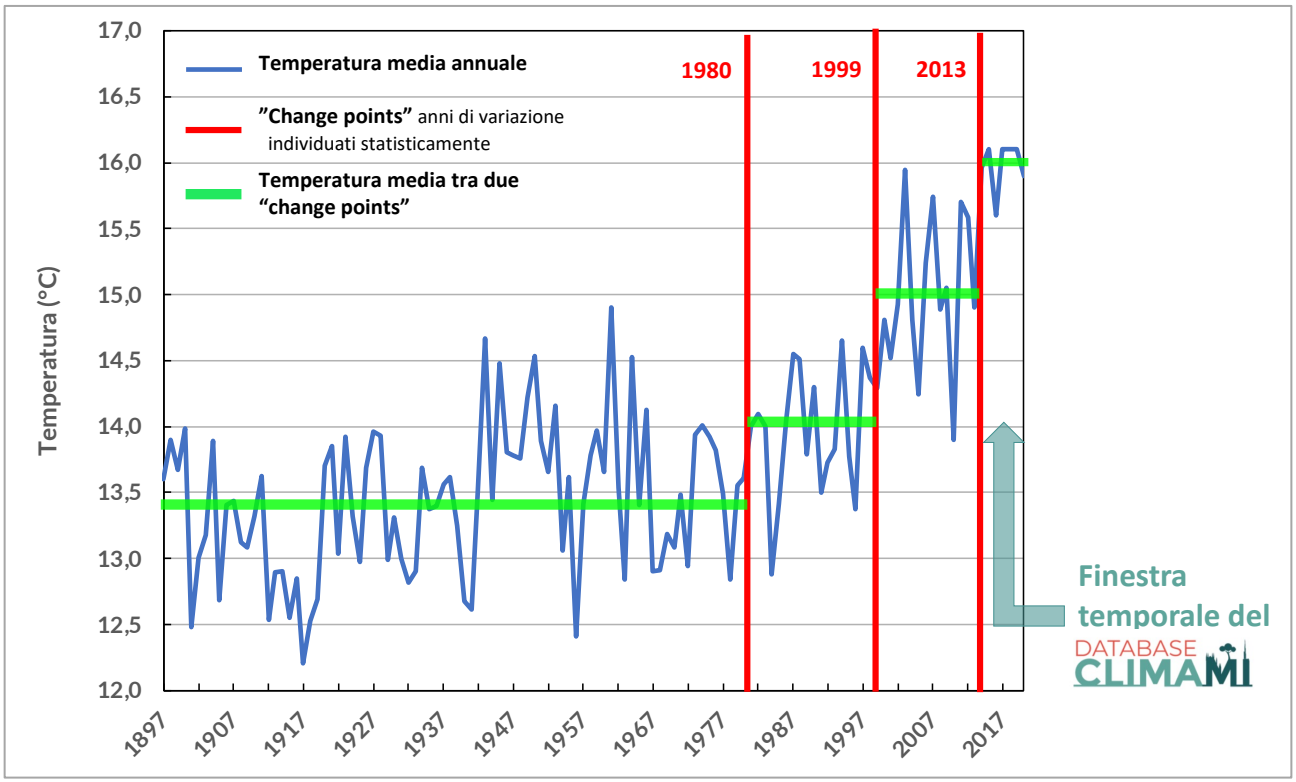

Figura 5.2 Temperatura media annuale in Milano Centro dal 1897 al 2020
(Milano Brera fino agli anni '80, Milano Duomo successivamente)

Il **Database ClimaMi** fornisce indicatori climatici riferiti all'ultimo decennio e precisamente al **periodo dal 1/12/2012 al 30/11/2020**, quindi **otto anni meteorologici** comuni a tutte le stazioni meteo (AWS Automatic Weather Stations) di Fondazione OMD del territorio mostrato in Figura 5.3; fanno eccezione le stazioni di Rho e Milano Sarpi le quali, essendo state installate in periodo più recente, forniscono indicatori riferiti rispettivamente al periodo 1/12/2014 - 30/11/2020 e 1/12/2015 - 30/11/2020.

Gli indicatori climatici sono forniti, a partire da dati meteorologici misurati nel periodo, come elaborazioni statistiche sintetiche riferite a diversi **dettagli o passi temporali**:

- **Decadale** (cioè per ognuna delle 3 decadi che compongono i 12 mesi)

- **Mensile**
- **Stagionale** (dove per stagione si intende la *stagione meteorologica*)
- **Annuale**

Ad essi si aggiungono le due stagioni termiche:

- **Stagione termica invernale**, indicata dal D.P.R. 412/93, che per l'area d'interesse del progetto decorre dal 15/10 al 15/04
- **Stagione termica estiva** (che per convenzione si fa coincidere con l'estate meteorologica)

Nel caso della **stagione termica invernale** si è fatto riferimento, per le elaborazioni climatiche, ad un periodo diverso dalla base dati 2013-2020, per utilizzare stagioni termiche intere: **dalla stagione termica 2013/2014 alla stagione termica 2020/2021**.

Per **la fulminazione**, i cui dati non derivano dalle stazioni meteorologiche di Fondazione OMD ma sono forniti da CESI S.p.A.[27], il periodo di elaborazione degli indicatori è il **2000-2018 (19 anni)** avendo a disposizione un set di dati comune per tutte le località del progetto ClimaMi a partire dal 2000.

Per la sola località di **Milano Centro**, inoltre, alcuni indicatori inerenti a temperatura e precipitazioni sono disponibili anche per i **CLINO 1961-1990 e 1991-2020**: il confronto tra gli indicatori riferiti ai CLINO e quelli relativi al 2013-2020 permette di **attestare le evoluzioni sostanziali del clima urbano milanese**.

[27] https://www.fulmini.it/

Figura 5.3 Area territoriale e base temporale del Database ClimaMi

5.2.3 Stazioni e Metadata

Le stazioni utilizzate per il calcolo degli indicatori climatici presenti nel Database ClimaMi sono 21, tutte afferenti alla rete di proprietà di Fondazione OMD (Fig. 5.3).

Quella di Fondazione OMD è una rete di stazioni meteorologiche professionali progettata proprio ai fini di monitoraggio meteorologico e climatico nelle città[28]: le stazioni sono state installate in ambito urbano a livello tetto, cioè al limite superiore dello *Urban Canopy Layer* (o strato della canopea urbana che si estende dal suolo all'altezza media degli edifici), tutte con i medesimi criteri di posizionamento[29]; fa eccezione solo la stazione di Saronno, che è posizionata su manto erboso a livello strada, rimanendo pur sempre in un contesto urbanizzato. I sensori di rilevamento di ultima generazione, Vaisala WXT520-530[30], sono identici in tutti i siti e sottoposti alle medesime e periodiche procedure di controllo e assicurazione qualità. I dati registrati sono disponibili con

[28] Frustaci G. et al, 2015
[29] Oke T.R., IOM Report Nr. 81, 2004
[30] https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/M210906EN-C.pdf

dettaglio fino a 10 minuti e vengono validati giornalmente, sia tramite procedure automatiche sia tramite controllo qualitativo e quantitativo da parte di meteorologi e tecnici specializzati.

Le 21 stazioni selezionate per la restituzione del Database ClimaMi sono tutte collocate nel bacino aerologico milanese, il quale comprende non solo la Città Metropolitana di Milano, ma anche una parte delle province limitrofe. Nello specifico gli indicatori climatici sono riferiti a:

- 8 stazioni ubicate nella città di Milano (Milano Bicocca, Milano Bocconi, Milano Bovisa, Milano Centro, Milano Città Studi, Milano San Siro, Milano Sarpi e Milano Sud)
- 8 stazioni nel resto della Città Metropolitana di Milano (Cinisello Balsamo, Gaggiano, Lacchiarella, Legnano, Magenta, Melzo, Rho, San Donato Milanese)
- 1 stazione a Lodi
- 1 stazione a Vigevano
- 1 stazione a Saronno
- 2 stazioni nella provincia di Monza e Brianza (Seregno e Vimercate)

Le 21 stazioni selezionate risultano ben distribuite nel bacino aerologico milanese e mettono in luce le differenze dovute ai rispettivi climi locali; differenze microclimatiche emergono per la stessa città di Milano.

Ogni stazione è descritta dai propri metadata, ovvero tutte quelle informazioni che ne caratterizzano sia la localizzazione che il micro-posizionamento e permettono di comprendere meglio quale strato dell'atmosfera cittadina viene monitorato e quali sono le principali influenze esercitate sulla misura dal tessuto urbano circostante. Nello specifico vengono fornite i seguenti metadata:

- **Data di installazione**;
- **Localizzazione** (*siting*) - coordinate geografiche in WGS84, altezza sul livello del mare dei sensori, distanza dal centro di Milano;
- **Esposizione** (*exposure*) dei sensori, cioè indicazioni inerenti all'esposizione effettiva del singolo sensore (albedo della superficie sottostante, elevazione dei sensori rispetto alla superficie di appoggio, altezza e orientazione delle pareti verticali sottostanti o sovrastanti, distanza dalle pareti in questione);
- **Strumentazione utilizzata**: marca e modello;
- **Incertezza di misura** della temperatura, determinata in base a calibrazione della strumentazione rispetto a standard certificati ed elaborazioni statistiche per il posizionamento e la misura in area ambiente[31];

[31] Curci S. et al., 2017

- **Uso del suolo** circostante rispetto allo Urban Atlas 2012[32];
- **Local Climate Zone** (LCZ)[33] di appartenenza secondo WUDAPT-Geopedia[34];
- **Classificazione della stazione meteo secondo la WMO-CIMO Guide** ed. 2018 rispetto ai sensori di temperatura e umidità, vento, pressione e radiazione.

Nella finestra di interfaccia del DB deputata alla selezione singola o multipla delle stazioni meteo (Fig. 5.1), Milano Centro compare tre volte in riferimento rispettivamente alla finestra temporale del DB e ai due CLINO considerati per poter accedere ai relativi indicatori climatici (è l'unica stazione per cui occorre selezionare il periodo climatico di riferimento).

5.2.4 Le variabili fondamentali e le incertezze di misura

Gli indicatori climatici del Database ClimaMi sono riconducibili a 6 variabili meteorologiche fondamentali[35]:

- Temperatura dell'aria (°C)
- Umidità relativa (%)
- Pressione atmosferica (hPa)
- Precipitazioni (cumulate e intensità) (mm, mm/h)
- Vento (direzione e velocità) (°, m/s)
- Radiazione solare (W/m^2)

A queste si aggiunge una settima variabile:

- i fulmini nube-suolo, calcolati come numero di colpi sulla superficie comunale (quest'ultima fonte ISTAT), rilevati da CESI S.p.A.[36]

5.2.4.a Temperatura dell'aria

I sensori di temperatura delle stazioni di Fondazione OMD hanno una incertezza di misura strumentale certificata in camera climatica di ± 0.2 °C per valori compresi tra -20.0 °C e +50.0 °C; uno studio statistico effettuato a partire dalle stazioni site nella città di Milano ha permesso di stimare, per tutte le stazioni utilizzate nel progetto, una incertezza aggiuntiva nella misura a campo dovuta all'ambiente circostante, che varia tra 0.3 °C e 0.9 °C[37].

Gli indicatori climatici afferenti alla sola temperatura sono ben 38, così sintetizzabili:

- Temperatura media; media delle minime; media delle massime; minima assoluta; massima assoluta

[32] https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2012?tab=mapview
[33] Stewart, I.D. et al., 2012
[34] http://www.wudapt.org/view-lcz-maps/
[35] https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/ecv-factsheets
[36] https://www.fulmini.it/public/sirf/default.asp
[37] Frustaci et al., 2017

- Gradi Giorno Invernali (somma delle sole differenze positive tra una temperatura convenzionalmente fissata a 20 °C e la temperatura media giornaliera)
- Somme Termiche a tre diverse soglie (0 °C, 5 °C e 10 °C), calcolate come somma delle differenze positive tra la temperatura media giornaliera e la soglia prefissata
- Numero medio di giorni di gelo, di ghiaccio e massimo numero di giorni consecutivi raggiunto per ciascuno di essi; numero medio annuo di giorni consecutivi; distribuzione di frequenza media di giornate consecutive.
- Numero medio di notti tropicali, di giornate di calura e massimo numero di giorni consecutivi per ciascuna categoria di evento; numero medio annuo di giorni consecutivi; distribuzione di frequenza media di eventi consecutivi
- Ondate di Calore[38] (par. 4.2.6, conteggiate in riferimento al CLINO 1961-1990; nello specifico sono disponibili):
    - il numero medio annuo di giorni con temperature minime e massime giornaliere al di sopra delle rispettive soglie[39]
    - il massimo numero di giorni consecutivi raggiunto con minime e massime al di sopra delle suddette soglie
    - il numero medio annuo di giorni consecutivi con minime e massime al di sopra delle soglie
    - la distribuzione di frequenza media di almeno 2 giornate consecutive
- le massime Escursioni Giornaliere di Temperatura per i diversi dettagli temporali, intese come differenza tra la temperatura massima e la temperatura minima giornaliere; la media delle massime escursioni giornaliere a partire, per ogni dettaglio temporale, dalle massime escursioni giornaliere di ogni anno: una media, quindi, effettuata in questo caso sui valori massimi degli 8 anni di finestra del DB ClimaMi

Inoltre, sono disponibili:

- i valori orari del Giorno Medio della temperatura
- le **Temperature Esterne Invernali di Progetto**, sia per edifici con **involucro leggero** che per edifici con **involucro pesante/normale** (NB: selezionabili solo per dettaglio temporale annuale)

[38] WMO WHO, Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development, 2015

[39] Sono giornate che se si susseguono per almeno due volte individuano una Ondata di Calore, ma che nel complesso (ovvero includendo anche le singole giornate) forniscono una quantificazione dell'occorrenza di situazioni di calore estremo

- le **Temperature Esterne Estive di Progetto** (NB: selezionabili solo per dettaglio temporale annuale; nel DB compare con la dicitura Temperatura media delle massime giornaliere (°C) – si veda Glossario)

5.2.4.b Umidità relativa

I sensori di umidità relativa delle stazioni di Fondazione OMD hanno una incertezza di misura strumentale quantificata nel ± 3%. Sono 8 gli indicatori riferibili strettamente a tale variabile. Cinque sono gli indicatori tipici della climatologia classica, che derivano dalla statistica elementare sui dati di umidità giornalieri:

- Umidità Relativa media; media delle minime; media delle massime; minima assoluta; massima assoluta

Forniscono invece una modulazione climatica a livello orario:

- il Giorno Medio dell'umidità relativa
- il Numero medio di ore con umidità relativa media al di sotto del 10% e al di sopra del 90%.

5.2.4.c Pressione atmosferica

Due sono gli indicatori rilasciati per questa variabile fondamentale:

- la Pressione Atmosferica media
- il Giorno Medio orario della pressione

5.2.4.d Precipitazioni

Sono 16 gli indicatori del Database ClimaMi correlati alle precipitazioni; questi non sono disponibili per la stazione di Milano San Siro.

Alle **precipitazioni cumulate** (ovvero le altezze in millimetri) sono dedicati:

- la Precipitazione Cumulata, media e mediana
- il Numero medio di giorni con pioggia (≥ 1 mm) o senza pioggia (< 1 mm), rispettive consecutività massima/media e distribuzione di frequenza media
- il Numero medio di **Eventi Intensi** con precipitazioni al di sopra di una certa soglia in un determinato intervallo di tempo (**almeno 5 mm in 10 minuti; 15 mm in 30 minuti; 30 mm in 60 minuti**)

Vi sono anche indicatori riferiti all' **intensità di precipitazione** (che si misura in millimetri all'ora):

- Intensità di Precipitazione media, mediana, massima assoluta e media delle massime assolute (nelle elaborazioni degli indicatori non sono ovviamente conteggiati gli intervalli senza precipitazione).

5.2.4.e Vento

Sono 15 gli indicatori climatici correlati al vento, di varia natura.

Gli indicatori derivanti dai valori medi e massimi giornalieri di **velocità del vento** sono:

- velocità del vento media, velocità del vento mediana, velocità del vento massima assoluta e velocità del vento media delle massime giornaliere

Gli indicatori relativi alla **raffica**[40], a partire dai dati campionati a 10 minuti, sono:

- raffica media giornaliera e raffica massima assoluta
- numero medio di eventi con raffica al di sopra di prestabilite soglie (5 m/s; 10 m/s; 15 m/s; 20 m/s)

Per la **direzione del vento**, anch'essa riferibile a dati misurati di 10 minuti, sono disponibili:

- direzione prevalente del vento (in gradi)
- **Rosa dei venti** sui 16 settori di provenienza, **per 8 intervalli di velocità**

Inoltre, a partire dai valori medi orari di velocità e direzione del vento, è calcolato:

- il Giorno Medio della velocità del vento.
- il Giorno Medio della direzione risultante (in gradi)
- il Giorno Medio della direzione prevalente (in settori) con la relativa frequenza di accadimento

5.2.4.f Radiazione solare

Sono 3 gli indicatori derivanti dai valori medi e massimi giornalieri di radiazione solare globale:

- radiazione solare globale media, massima assoluta e media delle massime

Dai valori medi orari è inoltre calcolato:

- il Giorno Medio di radiazione solare globale

Poiché il radiometro, per l'intero periodo considerato, era presente solo presso la stazione di Milano Città Studi, gli indicatori ricavati dalla radiazione sono disponibili al momento soltanto per questa stazione.

5.2.4.g Fulmini

I dati di fulminazione derivano dalla rete SIRF di CESI S.p.A.

L'indicatore fornito nel Database ClimaMi è:

- il Numero medio di fulmini nube-suolo per km^2 all'interno dell'area comunale

[40] Si veda il Glossario per la definizione

A tutte le stazioni della città di Milano è associato il medesimo valore riferito all'intera area comunale.

5.2.5 Indicatori derivati

Nel database sono inoltre presenti 8 indicatori basati sull'**Indice Humidex**[41].

A differenza dei casi precedenti, questi indicatori non sono associabili ad una sola variabile fondamentale, ma contemporaneamente a temperatura e umidità dell'aria che sono nel complesso responsabili della percezione di calore da parte del corpo (par. 4.2.6). L'Indice Humidex viene calcolato tramite la seguente formula semi-empirica:

$$Humidex\ (°C)\ =\ T + \frac{5}{9} * (6{,}11 * \frac{UR}{100} * 10^{\frac{7{,}5*T}{(237{,}7+T)}} - 10)$$

Nel Database di ClimaMi l'Indice Humidex è calcolato a partire dai dati orari di temperatura (T) e umidità relativa (UR). Questa accortezza di calcolo è fondamentale, essendo T e UR non correlate tra loro. Sono disponibili i seguenti indicatori climatici:

- Humidex medio giornaliero
- Humidex orario - massimo assoluto e media dei massimi assoluti
- Numero medio di giorni ed ore al di sopra di determinate soglie di stress termoigrometrico (35°C, soglia di malessere intenso; 40°C, soglia di pericolo).

A partire dall'Indice Humidex, che va interpretato come la percezione di calore da parte dell'uomo (e si misura in °C) deriva inoltre il seguente indicatore climatico:

- Gradi Giorno Estivi (GGE) – valor medio della stagione termica estiva (par. 4.2.2, Figg. 4.6, 4.7)

5.2.6 Organizzazione logica del Database

Il Database ClimaMi è studiato e strutturato in maniera tale da essere operativamente di supporto ai professionisti che, nella loro attività, si trovino a dover utilizzare dati climatici. Nella figura seguente è riportato lo schema logico su cui è costruita l'interfaccia utente, che accompagna il professionista nella selezione e nello scarico degli indicatori di interesse tra i 92 disponibili (Figura 5.4).

Le quattro selezioni a cascata permettono di ottenere, in base alle scelte effettuate, un set ristretto di indicatori climatici, che corrisponderà alle esigenze effettive di colui che interroga il Database.

[41] Masterson, J.M., 1979

Una volta selezionati gli indicatori di interesse, questi vengono trasmessi tramite posta elettronica come file in formato .csv; saranno accompagnati inoltre dai metadata corrispondenti alle stazioni prescelte e, per indicatori derivati dalla temperatura, dall'incertezza di misura.

Le effettive corrispondenze degli indicatori con settori di appartenenza, stazioni meteo, variabili fondamentali e dettagli temporali sono consultabili nell'Appendice B.

Per i vari ambiti d'azione sono disponibili:

- Pianificazione territoriale - 61 indicatori
- Progettazione edificio-impianto - 60 indicatori
- Energia - 31 indicatori
- Gestione del deflusso meteorico - 17 indicatori
- Salute e benessere - 51 indicatori
- Gestione del verde pubblico - 67 indicatori

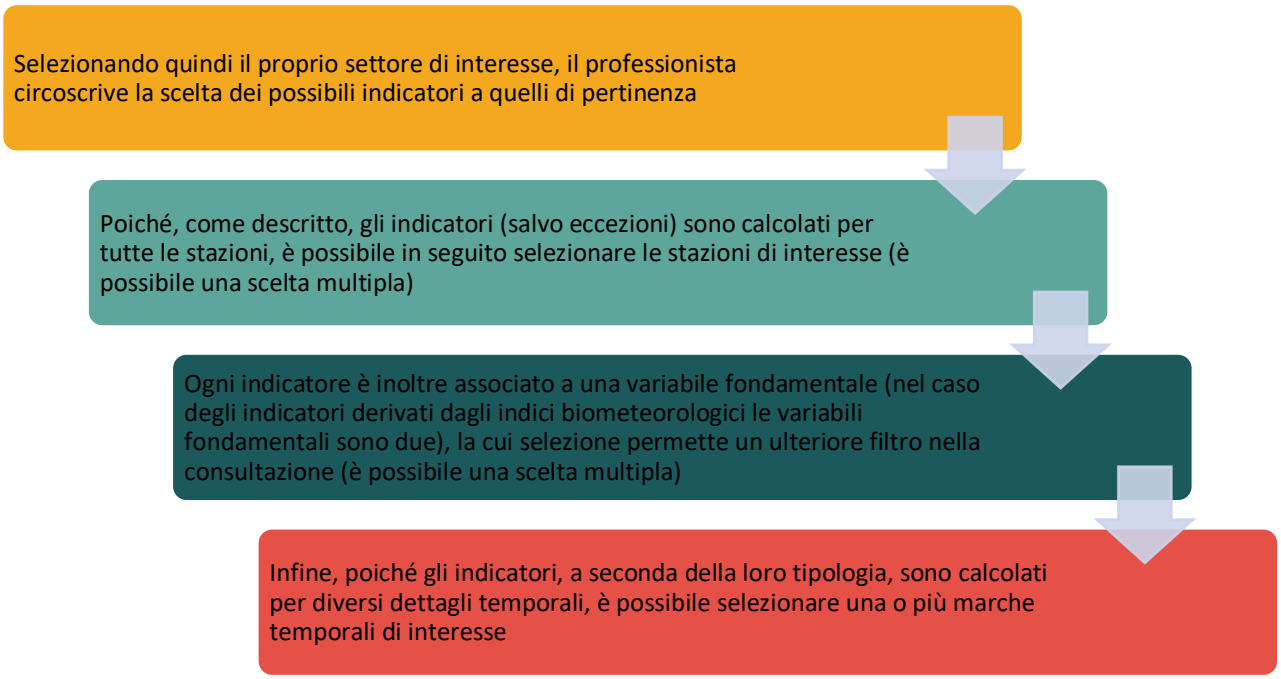

Figura 5.4. Schema logico dell'organizzazione del Database ClimaMi

5.3 L'Atlante Climatico Delle Temperature Dell'aria

Gli indicatori climatici descritti nei precedenti capitoli sono fondamentali per le attività di progettazione e gestione del territorio. Tuttavia, essi sono ricavati da dati puntuali di stazione e rappresentativi, di conseguenza, di un'area limitata.

L'Atlante Climatico della Temperatura dell'Aria consiste in una **raccolta di mappe che restituiscono la distribuzione spaziale dei valori di temperatura atmosferica estiva e invernale del periodo 2016-2019** nella canopea urbana:

- su un grigliato regolare ad **alta risoluzione** (celle di 100 metri x 100 metri)
- nei centri urbani e nelle aree rurali **non dotati di stazione meteorologica**

Un'importante precisazione: le mappe dell'Atlante restituiscono la *Temperatura dell'Aria* (variabile atmosferica), cioè la temperatura dello strato atmosferico prossimo al suolo che viene percepita dal corpo umano; questa non è assolutamente da confondersi con la *Land Surface Temperature LST* (variabile geofisica), che rappresenta invece la temperatura delle superfici e dei materiali al suolo, ottenibile dai monitoraggi satellitari. Per approfondire l'argomento e il legame tra le due grandezze si rimanda alla relativa Appendice D.2.

Le informazioni climatiche contenute nell'Atlante possono essere incrociate e correlate con altri dati georeferenziati, quali la densità di popolazione e l'uso del suolo, contribuendo così ai processi decisionali, progettuali e gestionali.
Particolarmente utile ai fini delle attività di pianificazione e progettazione territoriale (si veda Par.4.2.4) è l'analisi congiunta con gli strati dei **database topografici istituzionali**, da quelli Comunali a quelli di Regione Lombardia. Nelle sottostanti figure si riporta un esempio di sovrapposizione con il DUSAF *Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali di Regione Lombardia* (Figg. 5.5, 5.6).

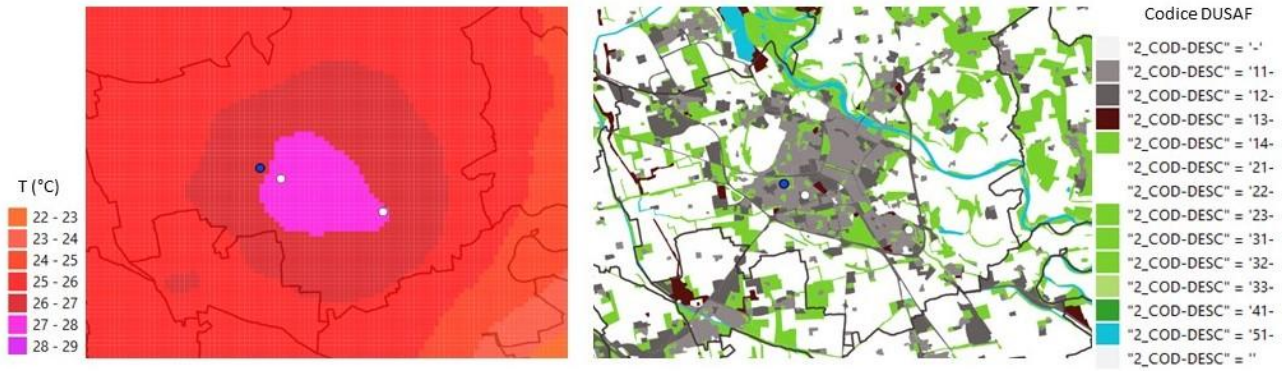

Figura 5.5. Immagini estratte dall'Atlante della Temperatura dell'Aria e dal DUSAF per il Comune di Lodi

Figura 5.6 Sovrapposizione delle due precedenti immagini (Atlante Temperatura Aria + DUSAF)

L'area geografica coperta dall'Atlante corrisponde al bacino aerologico milanese: si estende dai confini nord della provincia di Monza e Brianza, a sud del Comune di Pavia; dai confini occidentali di Città Metropolitana di Milano (CMM) e del Vigevanese a quelli orientali della CMM e del Lodigiano (Fig. 5.7).

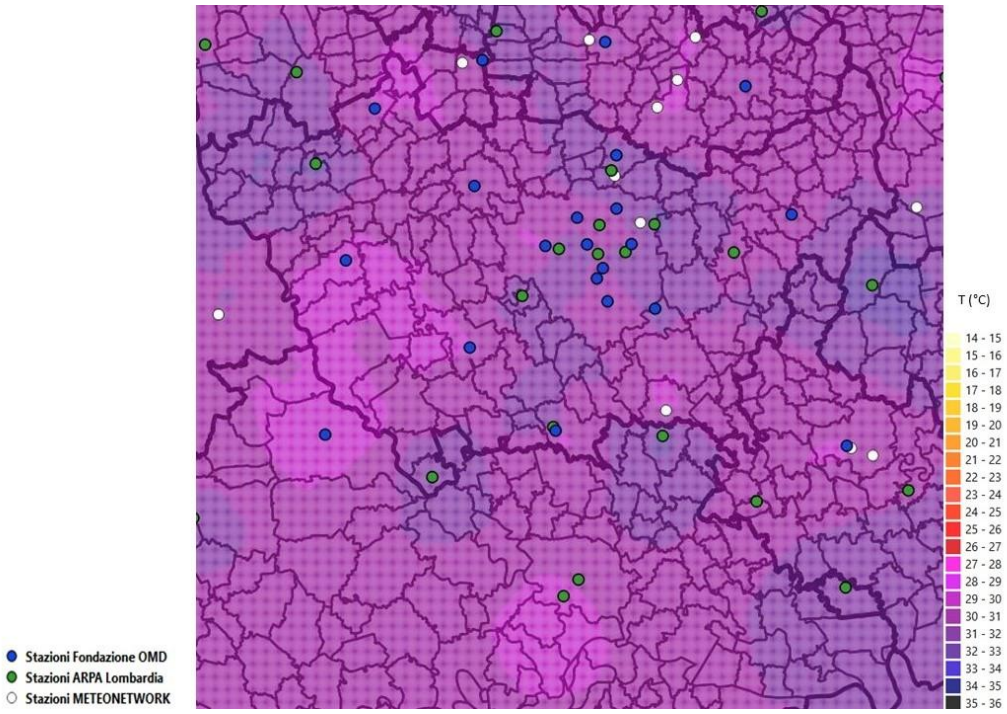

Figura 5.7 Dominio ed esempio di mappa estiva di temperatura dell'aria dell'Atlante Climatico

Per ognuna delle mappe di temperatura è disponibile anche la corrispettiva mappa delle incertezze di stima (Figura 5.8).

I valori di incertezza tendono a essere più bassi nelle aree prossime alle stazioni utilizzate per la realizzazione delle mappe, mentre sono tendenzialmente più elevati lontano da esse o ai limiti del dominio.

Per ogni cella del grigliato sono quindi disponibili i valori di temperatura dell'aria e relativa incertezza.

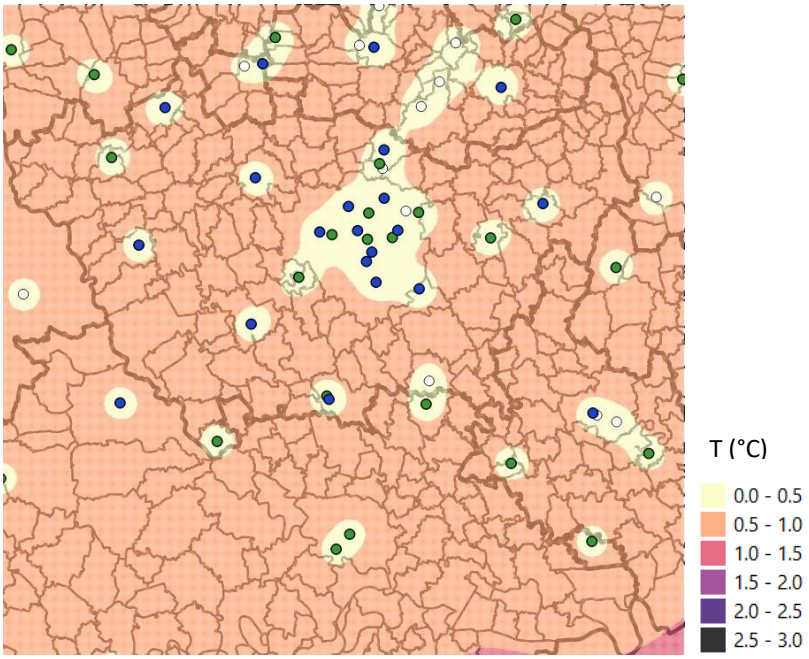

Figura 5.8 Esempio di associata mappa delle incertezze di temperatura

5.3.1 Isola di Calore: le Situazione Tipo Climatiche (STC)

L'Atlante delle Temperature dell'Aria è finalizzato a caratterizzare fenomeni ed eventi estremi di tipo termico. Tra i fenomeni climatici che si verificano non solo nelle grandi città ma anche nei centri più piccoli, particolarmente importante è l'**isola di calore** (**UHI Urban Heat Island**). L'UHI si forma nelle aree urbanizzate non solo in funzione della densità e delle caratteristiche fisiche e geometriche di urbanizzazione (si veda par. 3.2) ma anche dell'accadimento di determinate situazioni meteorologiche. In funzione delle condizioni atmosferiche l'isola di calore non assume sempre le medesime caratteristiche e distribuzioni spaziali: **a seconda dell'ora della giornata, della stagione e della situazione meteorologica in atto l'UHI può risultare più o meno intensa e centrata su differenti zone dell'area urbana**.

Per dare una rappresentazione il più realistica possibile delle distribuzioni di temperatura dell'aria sul bacino aerologico di interesse, sono state individuate differenti **Situazioni Tipo Climatiche** (da qui in poi **STC**), a cui a loro volta corrispondono diverse condizioni di isola di calore.

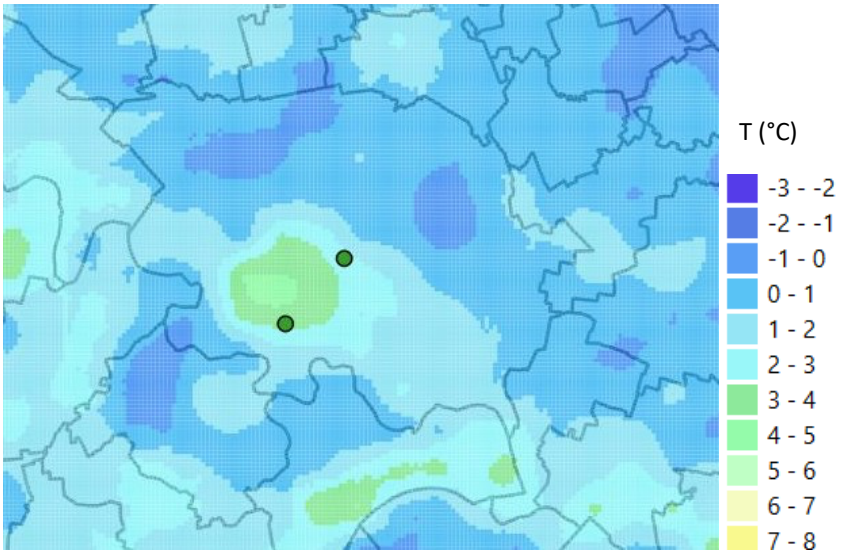

Figura 5.9 Isola di calore invernale nella città di Pavia

Poiché l'isola di calore, a Milano e nei centri urbani più in generale, risulta particolarmente **intensa nelle stagioni estiva** (giugno, luglio e agosto) e **invernale** (dicembre, gennaio e febbraio), le STC sono state individuate con riferimento a questi due trimestri. Inoltre, è proprio in queste due stagioni che si raggiungono i valori di temperatura più estremi, che devono essere considerati dai professionisti in fase di progettazione e pianificazione.

Le STC individuano situazioni mattutine (fascia oraria tra le 10 e le 12) e serali (fascia oraria tra le 21 e le 23) in dipendenza dagli orari in cui si hanno a disposizione i dati satellitari (si veda a Appendice D). Tali orari non corrispondono a quelli in cui tipicamente si registrano le minime e le massime giornaliere di temperatura dell'aria; tuttavia, il loro studio è particolarmente interessante, specie per quanto riguarda la fascia oraria serale che, soprattutto in estate, corrisponde a uno dei momenti della giornata in cui la differenza tra temperatura urbana e temperatura extra-urbana si fa più elevata. Le STC sono state denominate in funzione della localizzazione della UHI nell'area urbanizzata più estesa del bacino comprendente Milano e i centri limitrofi:

- **ESTATE UHI_Centro 22:00**: situazione estiva serale con isola di calore più intensa sulla parte centrale della città di Milano o diffusa in maniera omogenea
- **ESTATE UHI_Est 22:00**: situazione estiva serale con isola di calore più intensa nella parte orientale milanese
- **ESTATE UHI_Nord-Ovest 22:00**: situazione estiva serale con isola di calore più intensa nella parte centrale di Milano città e con tendenza ad espandersi verso nord-ovest
- **INVERNO UHI_Centro 11:00**: situazione invernale mattutina con isola di calore più intensa nella parte centro-orientale milanese

- **INVERNO UHI_Nord-Est 11:00**: situazione invernale mattutina con isola di calore più intensa nella parte nord-orientale di Milano e con tendenza ad espandersi verso nord-est
- **INVERNO UHI_Ovest 11:00**: situazione invernale mattutina con isola di calore più intensa nella parte occidentale di Milano e con tendenza ad espandersi verso ovest
- **INVERNO UHI_Centro 22:00**: situazione invernale mattutina con isola di calore più intensa coinvolgente gran parte dell'urbanizzato di Milano
- **INVERNO UHI_Est 22:00**: situazione invernale mattutina con isola di calore più intensa nella parte orientale dell'urbanizzato di Milano

Le STC, classificate a partire dati orari misurati dalle stazioni meteo convenzionali di oltre 4 anni, presentano le frequenze di accadimento visualizzate in Figura 5.10. Le mattine estive non sono soggette a isola di calore significativa e anzi spesso in tali orari non si è ancora formata l'UHI, pertanto per esse non sono state individuate STC ed elaborate mappe dell'Atlante.

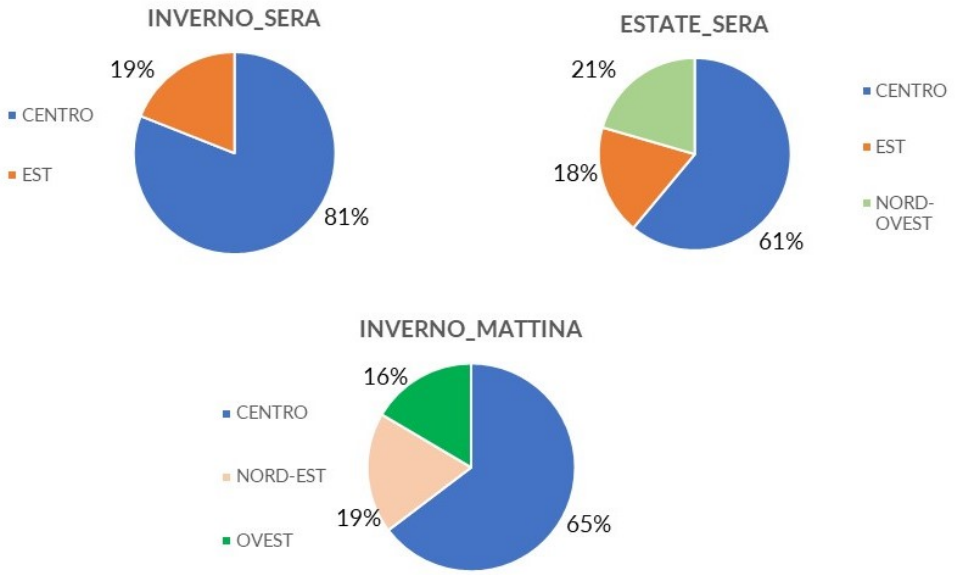

Figura 5.10 Frequenze di accadimento delle Situazioni Tipo Climatiche nelle diverse stagioni e fasce orarie

È interessante osservare come le STC presentino delle frequenze di accadimento molto diverse a seconda della stagione e della fascia oraria: questo rimarca come l'isola di calore non assume sempre le medesime distribuzioni spaziali. Un esempio è mostrato per l'Estate UHI sera (Figg 5.11, 5.12, 5.13).

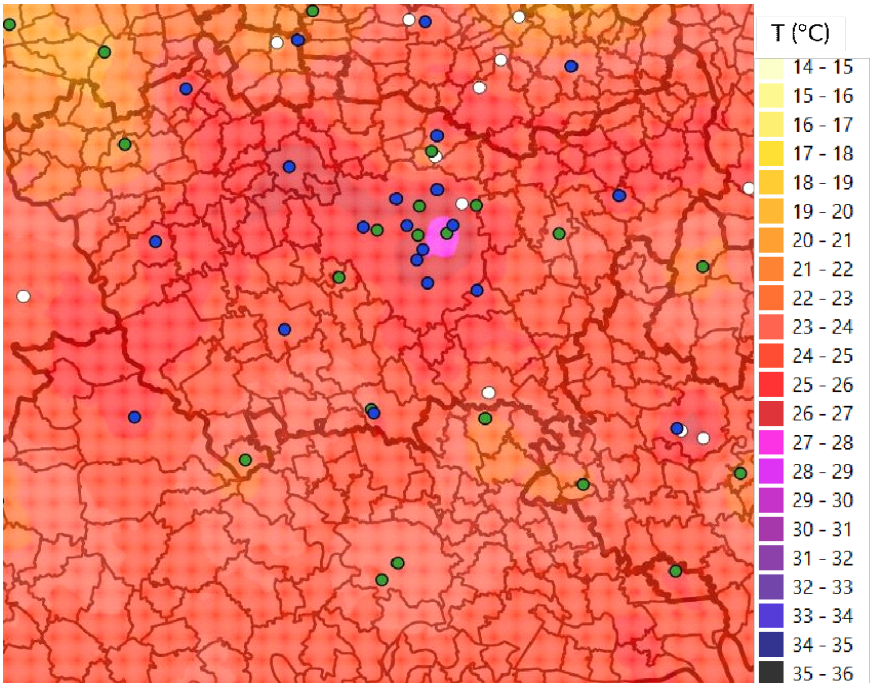

Figura 5.11 Temperatura media dell'aria in ESTATE UHI Centro 22:00

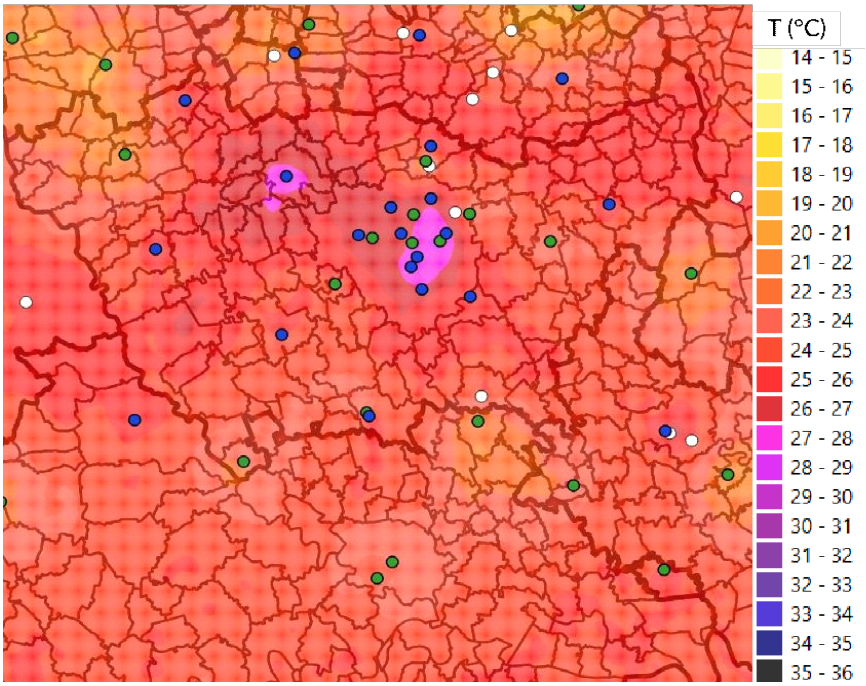

Figura 5.12 Temperatura media dell'aria in ESTATE UHI Est 22:00

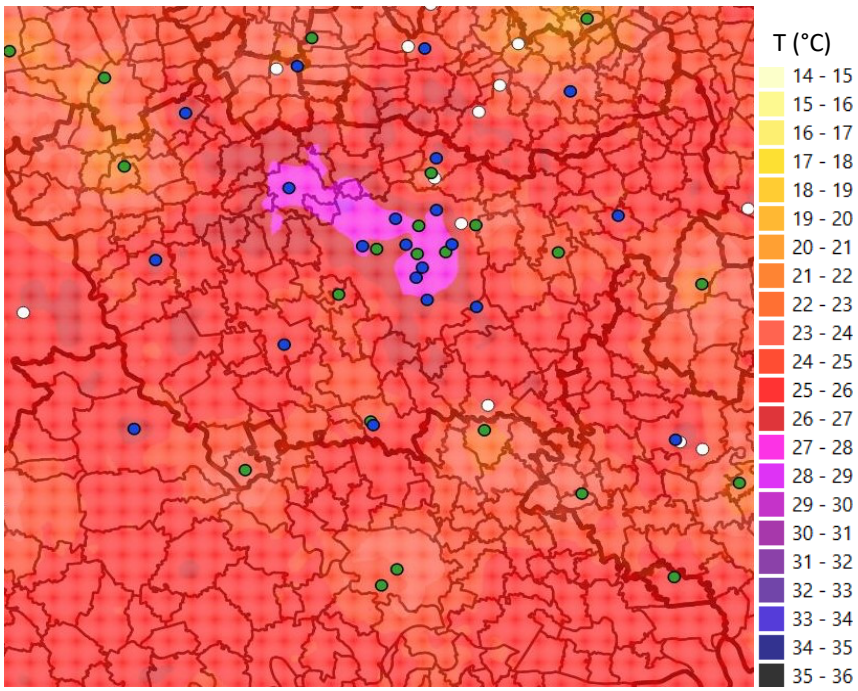

Figura 5.13 Temperatura media dell'aria in ESTATE UHI Nord-Ovest 22:00

L'Atlante restituisce anche una sintesi della distribuzione media stagionale di temperatura dell'aria sul territorio, sulla base dei pesi delle diverse STC in ogni stagione e fascia oraria (le frequenze di accadimento – Fig 5.10). Sono disponibili le seguenti **mappe di temperatura media stagionale dell'aria:**

- **ESTATE UHI 22:00**: mappa rappresentativa della temperatura dell'aria media nelle serate estive soggette a forte isola di calore. (Figura 5.13)
- **INVERNO UHI 11:00**: mappa rappresentativa della temperatura dell'aria media nelle mattine invernali soggette a forte isola di calore
- **INVERNO UHI 22:00**: mappa rappresentativa della temperatura dell'aria media nelle serate invernali soggette a forte isola di calore (Figura 5.14)

Per ogni stagione e fascia oraria è inoltre disponibile l'**estremo stagionale**, cioè la mappa che rappresenta la situazione **più fredda o più calda** (a seconda della stagione) tra tutte quelle analizzate:

- massima ESTATE UHI 22:00 (Figura 5.16)
- minima INVERNO UHI 11:00
- minima INVERNO UHI 22:00 (Figura 5.17)

Si ricorda che ogni mappa di temperatura dell'aria è accompagnata dalla corrispettiva mappa delle incertezze.

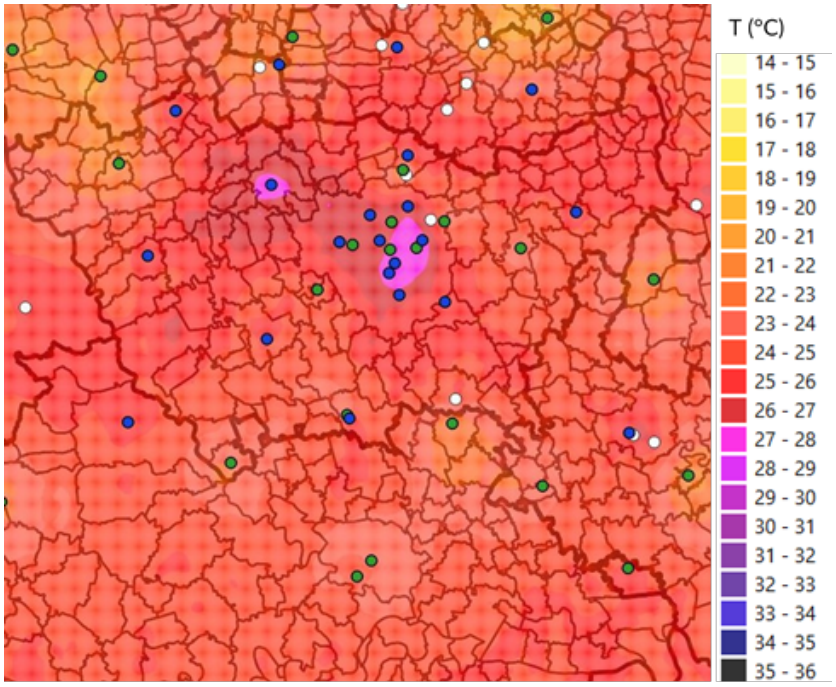

Figura 5.14 Media stagionale di Temperatura dell'aria: ESTATE UHI 22:00

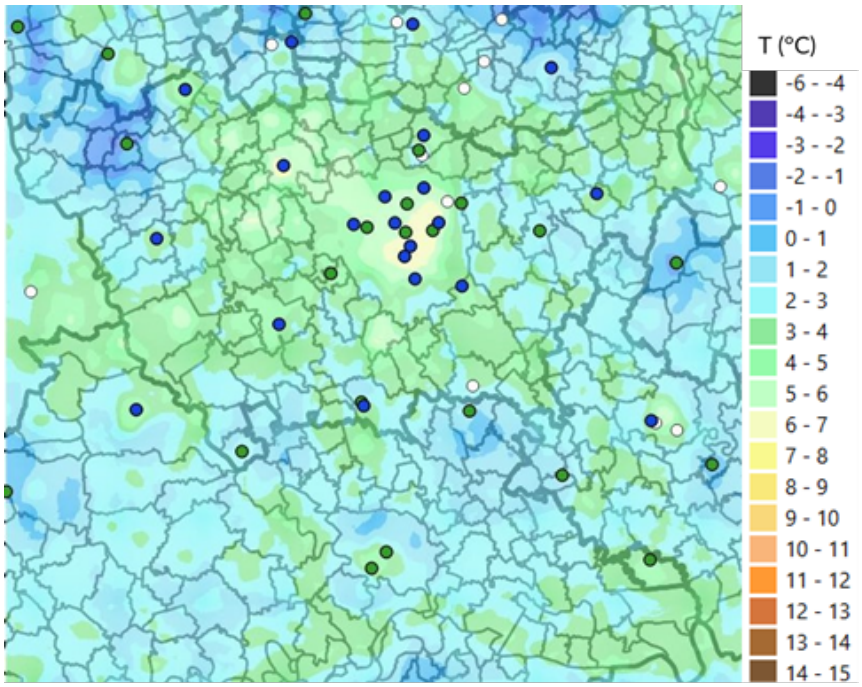

Figura 5.15 Media stagionale di Temperatura dell'aria: INVERNO UHI 22:00

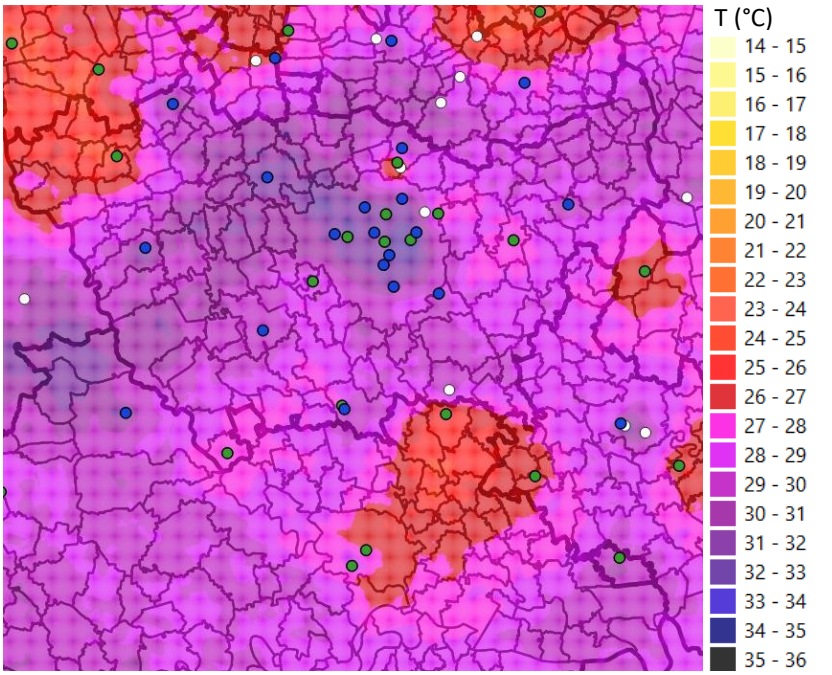

Figura 5.16 Estremo stagionale di temperatura dell'aria: massima ESTATE UHI 22:00

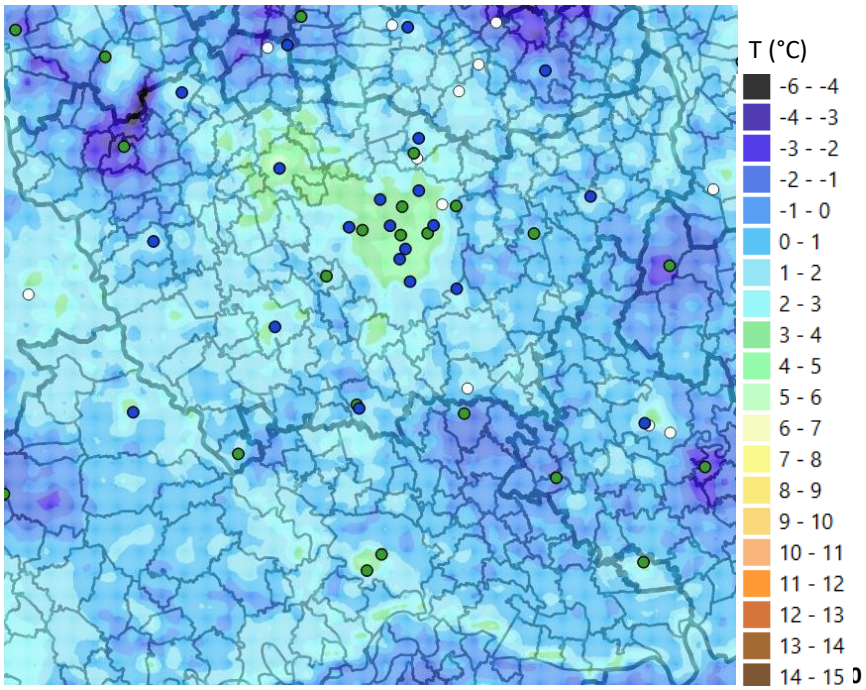

Figura 5.17 Estremo stagionale di temperatura dell'aria: minima INVERNO UHI 22:00

5.3.2 Ondate di Calore

Con **Ondata di Calore** (*WMO, Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development, 2015*) si intende un *evento estremo di caldo intenso* in cui, per almeno due giorni consecutivi, le temperature minime e massime giornaliere superano determinate soglie (si veda Appendice D.2). Si tratta di situazioni meteorologiche caratterizzate da temperature molto elevate e perduranti.

L'ondata di calore, quindi, è un fenomeno legato alla stagione estiva, al contrario dell'isola di calore che può presentarsi in maniera molto marcata anche in inverno.

Tuttavia, in determinate circostanze, l'isola di calore urbana può accentuare ulteriormente l'ondata di calore nelle aree urbane.

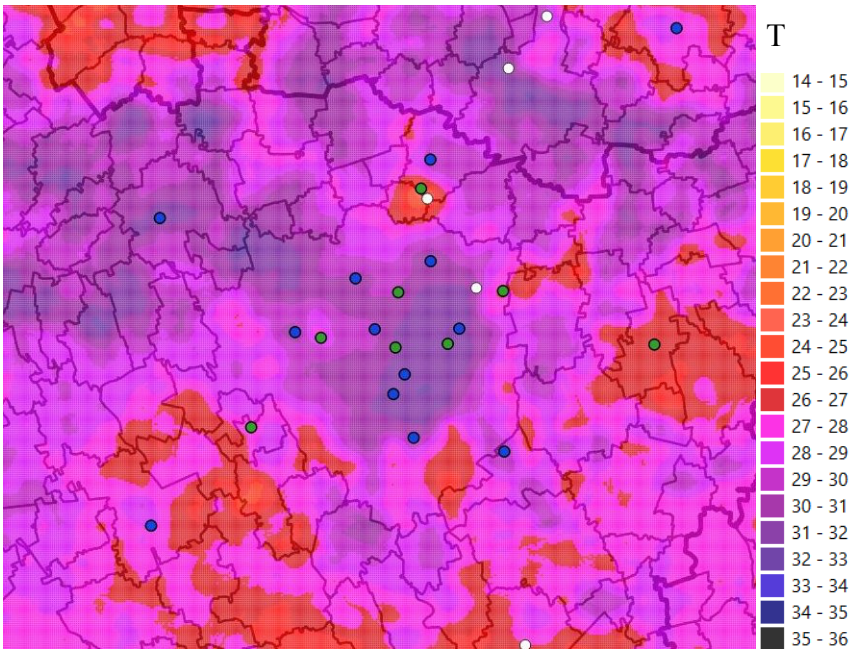

Figura 5.18 Situazione di isole di calore nel milanese in presenza di ondata di calore

Anche gli **episodi di ondata di calore presentano diverse configurazioni e distribuzioni spaziali di temperatura**. L'Atlante ne contiene tre diverse tipologie, denominate in funzione della localizzazione dei massimi di temperatura nell'area urbanizzata più estesa del bacino comprendente Milano e i centri limitrofi:

- **ONDATA DI CALORE Centro** con temperature massime coinvolgenti gran parte dell'urbanizzato di Milano
- **ONDATA DI CALORE Nord-Ovest** con temperature massime sulla direttrice Nord-Ovest dell'urbanizzato milanese
- **ONDATA DI CALORE Nord-Est** con temperature massime sulla direttrice Nord-Est dell'urbanizzato milanese

Le frequenze di accadimento delle tre diverse tipologie, nelle 5 stagioni estive considerate, sono riportate in Figura 5.19.

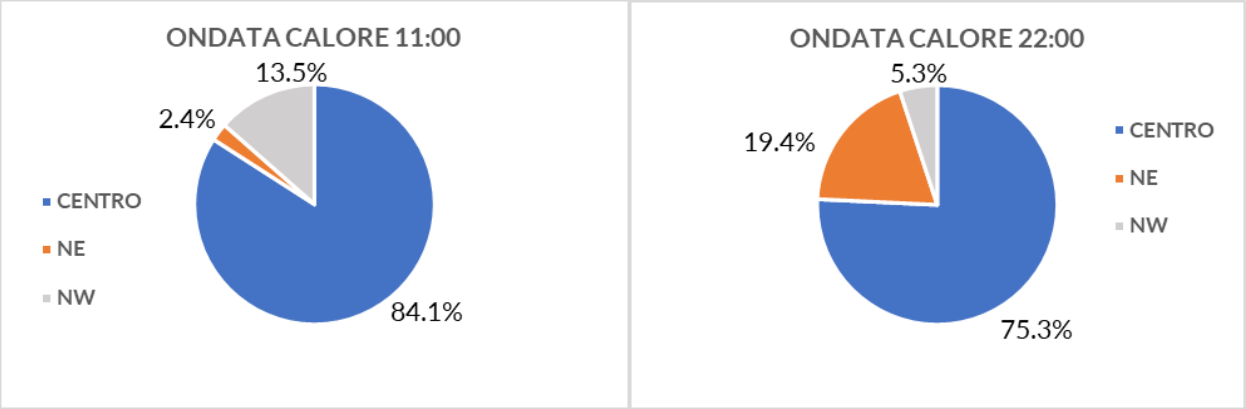

Figura 5.19 Frequenze di accadimento delle tipologie di distribuzione spaziale delle Ondate di Calore

Per ogni tipologia di ondata di calore è disponibile la **mappa media di temperatura dell'aria**; si possono quindi consultare:

- **ONDATA CALORE Centro 11:00**: ondate di calore mattutine con temperature elevate diffuse in maniera omogenea sull'area
- **ONDATA CALORE Nord-Est 11:00**: ondate di calore mattutine con temperature più elevate sulla zona nord-orientale della città di Milano e del bacino aerologico
- **ONDATA CALORE Nord-Ovest 11:00**: ondate di calore mattutine con temperature più elevate sulla zona nord-occidentale della città di Milano e del bacino aerologico
- **ONDATA CALORE Centro 22:00**: ondate di calore serali con temperature più elevate diffuse in maniera omogenea sull'area
- **ONDATA CALORE Nord-Est 22:00**: ondate di calore serali con temperature più elevate sulla zona nord-orientale della città di Milano e del bacino aerologico
- **ONDATA CALORE Nord-Ovest 22:00**: ondate di calore serali con temperature più elevate sulla zona nord-occidentale della città di Milano e del bacino aerologico

La media pesata delle diverse tipologie di Ondata di Calore per ogni fascia oraria, calcolata sulla base delle relative frequenze di accadimento, ha permesso di ottenere la mappa dell'**episodio medio di Ondata di Calore mattutino e serale** e la mappa della relativa incertezza**:**

- **Media di ONDATA DI CALORE 11:00**: mappa rappresentativa della temperatura media dell'aria nelle mattine interessate da ondata di calore (Figura 5.20)
- **Media di ONDATA DI CALORE 22:00**: mappa rappresentativa della temperatura media dell'aria nelle sere interessate da ondata di calore

Per ogni fascia oraria è inoltre disponibile l'**episodio estremo di Ondata di Calore**, cioè la mappa che rappresenta la situazione **più calda** tra tutte quelle analizzate nonché la relativa incertezza:

- **massima ONDATA DI CALORE 11:00** (Figura 5.22)
- **massima ONDATA DI CALORE 22:00**

Le mappe evidenziano come **le temperature, durante le ondate di calore, presentino delle notevoli differenze tra gli episodi del mattino e quelli serali, sia in termini di valori assoluti sia in termini di distribuzione spaziale**. In Figura 5.23 è possibile osservare l'evoluzione di una ondata di calore in tre diverse ore di una stessa giornata.

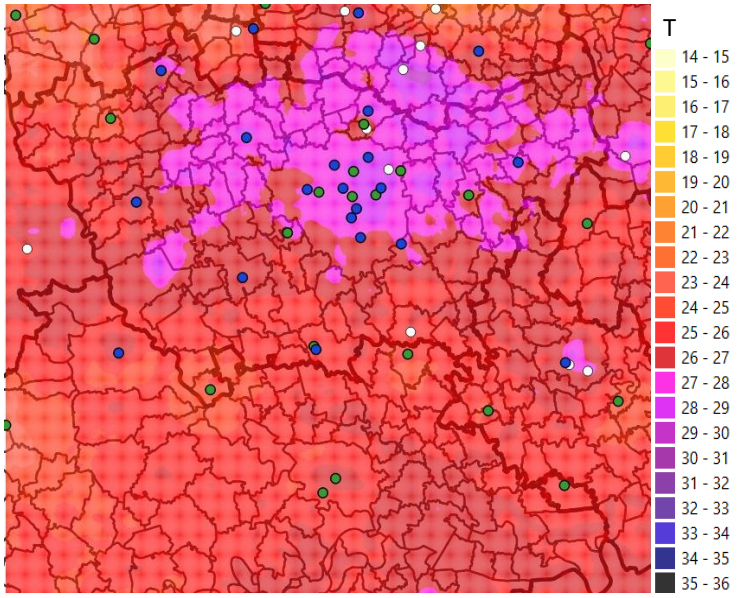

Figura 5.20 Media di ONDATA di CALORE Nord-Est 22:00

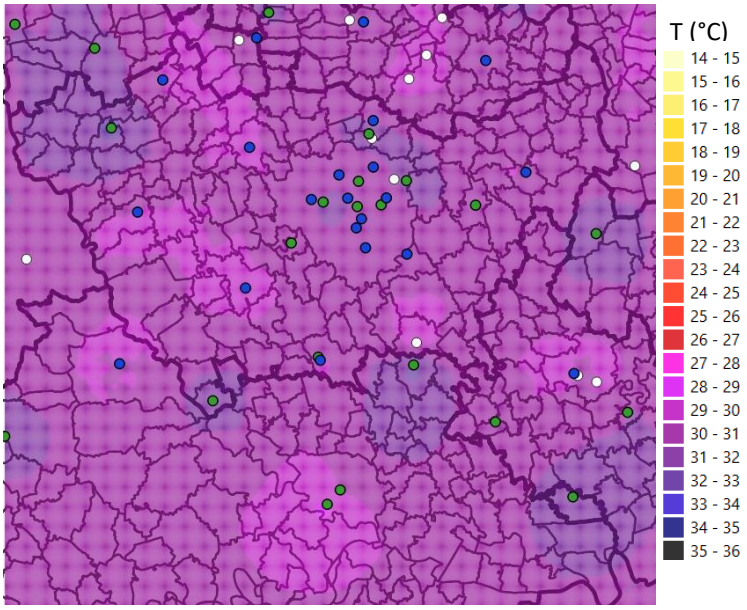

Figura 5.21 Media di ONDATA di CALORE 11:00

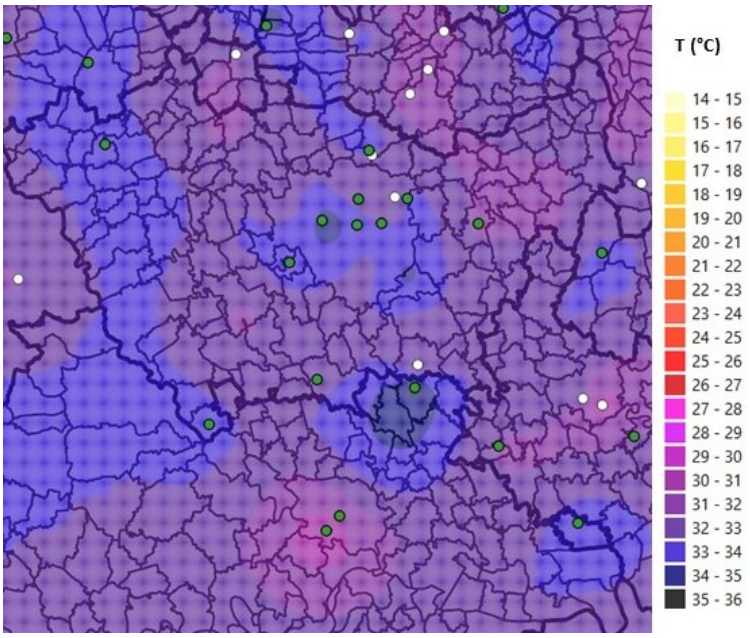

Figura 5.22 Massima ONDATA DI CALORE 11:00

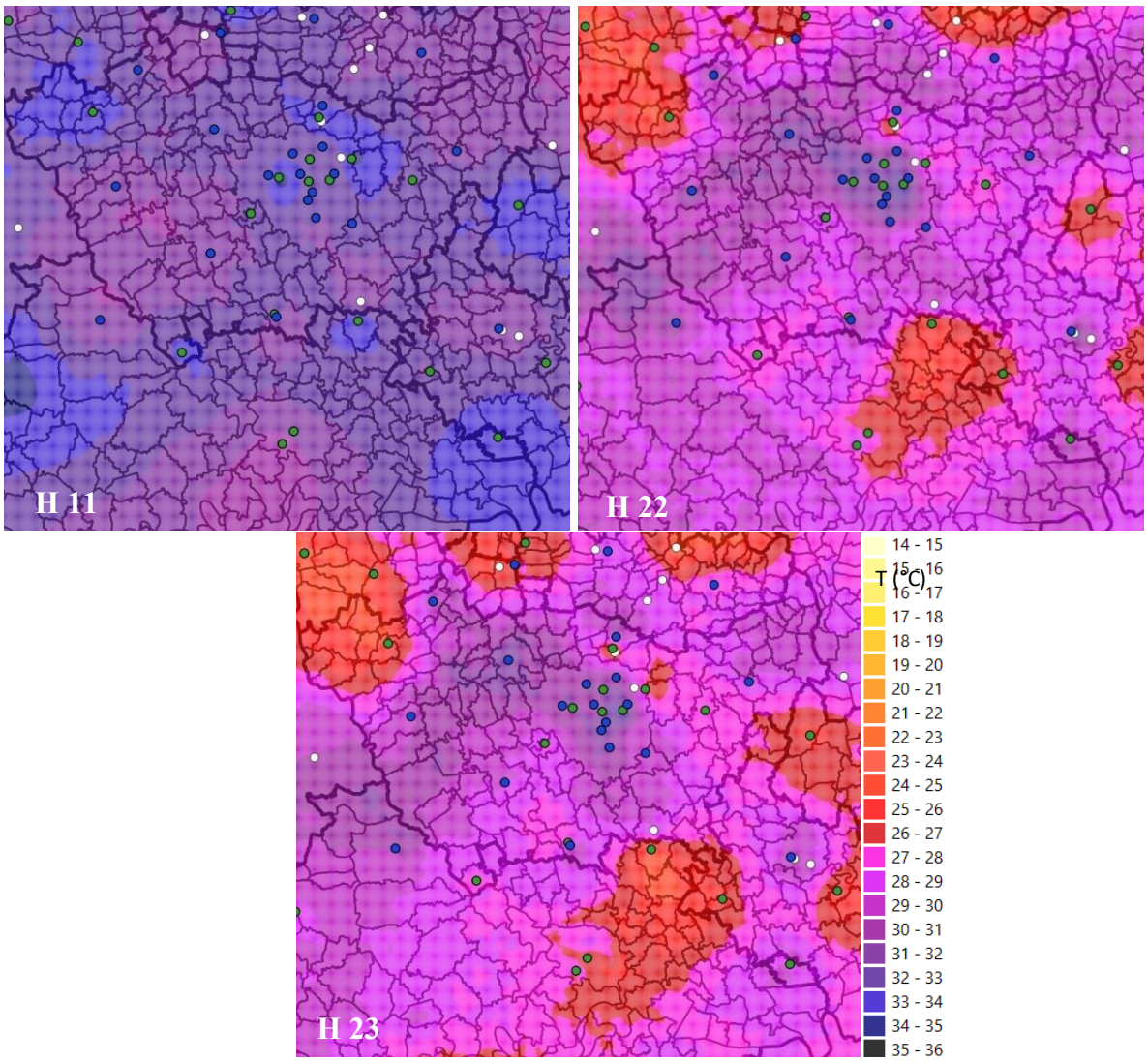

Figura 5.23 Evoluzione oraria dell'Ondata Calore del 26/06/2019

5.3.3 Contenuti dell'Atlante

L'Atlante ClimaMi, realizzato in **WebGIS**, è studiato e strutturato in maniera tale da essere operativamente di supporto ai professionisti che, nella loro attività, necessitino di dover utilizzare dati climatici di temperatura dell'aria con alta risoluzione spaziale, per zone prive di stazioni meteorologiche di riferimento e potendoli confrontare e correlare con dati topografici istituzionali. È possibile consultare due diversi livelli di aggregazione:

1. livello di massima aggregazione relativo ai valori medi ed estremi stagionali
2. livello più disaggregato, con valori medi per Situazioni Tipo Climatiche e Tipologie di Ondata di Calore

Il livello 2 è consigliato ad utenti più esperti di climatologia.

LIVELLO 1 (MASSIMA AGGREGAZIONE): **medie ed estremi stagionali**

- media e massima ONDATA DI CALORE 11:00
- media e massima ONDATA DI CALORE 22:00
- media e massima ESTATE UHI 22:00
- media e minima INVERNO UHI 11:00
- media e minima INVERNO UHI 22:00

LIVELLO 2 (LIVELLO Più DISAGGREGATO): medie per STC e per tipologia di ondata di calore

- ESTATE UHI Centro 22:00
- ESTATE UHI Est 22:00
- ESTATE UHI Nord-Ovest 22:00
- INVERNO UHI Centro 11:00
- INVERNO UHI Nord-Est 11:00
- INVERNO UHI Ovest 11:00
- INVERNO UHI Centro 22:00
- INVERNO UHI Est 22:00
- ONDATA CALORE Centro 11:00
- ONDATA CALORE Nord-Est 11:00
- ONDATA CALORE Nord-Ovest 11:00
- ONDATA CALORE Centro 22:00
- ONDATA CALORE Nord-Est 22:00
- ONDATA CALORE Nord-Ovest 22:00

Per ogni tipologia di mappa, in entrambi i livelli, è possibile consultare e scaricare le corrispettive **mappe di incertezza**.

Dal punto di vista territoriale l'Atlante è interrogabile per:

- singolo comune
- singola provincia
- intero bacino aerologico

Le mappe possono essere scaricate, con riferimento al dettaglio temporale di cui sopra, nei seguenti formati:

- Immagine raster (jpeg)
- Layer vettoriale (ESRI Shp)

5.4 Il Catalogo delle Precipitazioni

Anche i fenomeni precipitativi stanno cambiando molto rapidamente: sono sempre più frequenti eventi di breve durata ma intensi e alternati a lunghi periodi di assenza di precipitazioni. Questi cambiamenti del regime pluviometrico si aggiungono, inoltre, alle già significative differenze nella distribuzione spaziale delle precipitazioni sul territorio milanese, legate anche alla stagionalità. Di tali cambiamenti e di tali differenze deve tener conto chi si occupa di progettazione di opere idrauliche e gestione del runoff urbano.

Il Catalogo delle Precipitazioni nasce proprio con lo scopo di fornire una caratterizzazione spaziale e temporale del regime delle precipitazioni nel bacino aerologico milanese nell'ultimo decennio, con particolare attenzione agli eventi estremi e alle piogge intense di breve durata.

Dalla Home Page del Catalogo delle Precipitazioni è possibile scaricare, selezionando una o più stazioni di interesse (è prevista la scelta multipla):

- gli **Indicatori climatici** (incluse le "**variazioni**" per la sola stazione di Milano Centro), selezionando la relativa voce dal menù a tendina
- le **Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP)** per 4 differenti tempi di ritorno,

I dati richiesti vengono forniti in formato CSV direttamente in download.

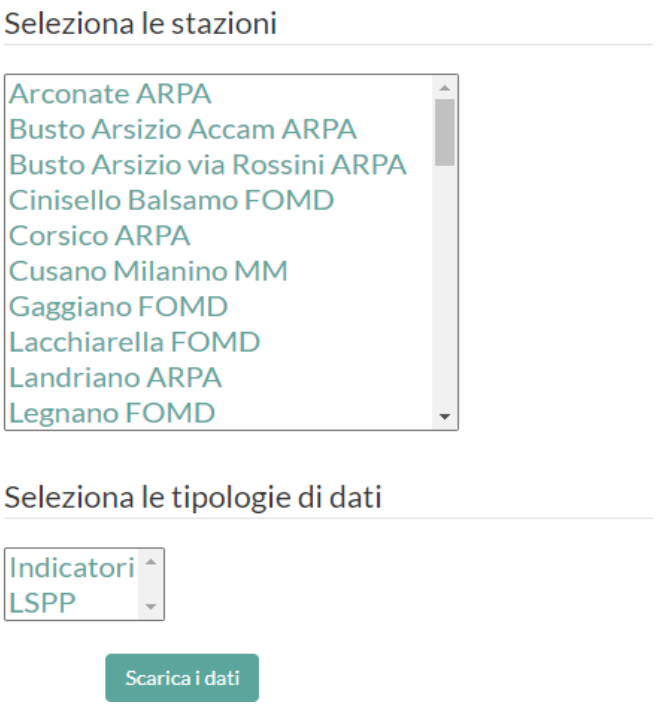

Figura 5.24 Schermata di selezione del Catalogo delle Precipitazioni

5.4.1 Le stazioni di misura

Nel Catalogo sono incluse 46 stazioni pluviometriche presenti nell'area (Fig. 5.25), appartenenti a 3 diverse reti di monitoraggio:

- 18 stazioni della rete di Fondazione OMD (FOMD)
- 16 stazioni della rete di Metropolitana Milanese (MM), stakeholder del Progetto
- 12 stazioni della rete di ARPA Lombardia (ARPA), stakeholder del Progetto

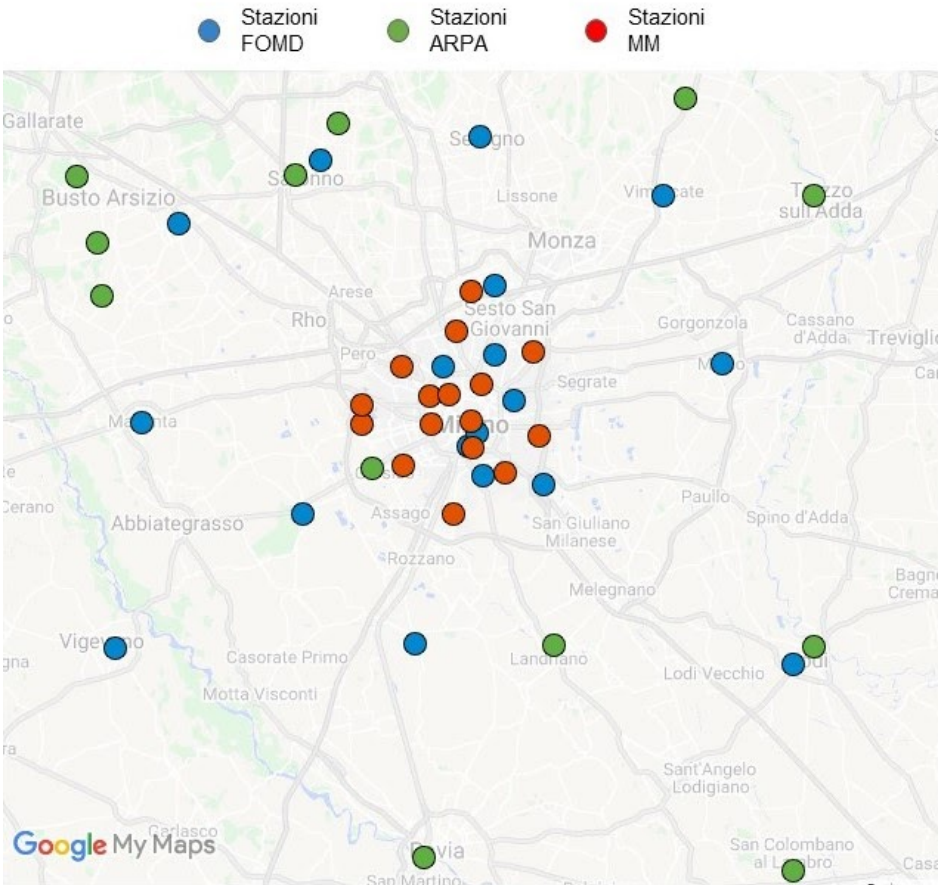

Figura 5.25 Le stazioni pluviometriche presenti nel Catalogo delle Precipitazioni

Per ogni stazione interrogata il Catalogo, oltre agli indicatori pluviometrici, fornisce i metadata: coordinate, altitudine e tipologia di pluviometro (a bascula o a impatto). La rete di Fondazione OMD è stata ampiamente descritta nel paragrafo 5.2.3. Metropolitana Milanese si occupa della gestione del servizio idrico della città di Milano e a questo scopo ha una propria rete di pluviometri, siti tutti in Milano città ad eccezione di quello in Cusano Milanino. I pluviometri di Arpa Lombardia sono stati invece selezionati tra quelli disponibili sia sulla base della collocazione nell'area sia considerando la lunghezza della serie dati e la continuità di acquisizione.

5.4.2 Gli Indicatori pluviometrici

Gli indicatori pluviometrici sono stati selezionati in seguito a numerosi confronti con esperti e professionisti del settore, allo scopo di fornire dati utili alla progettazione.

Il periodo di riferimento è lo stesso degli indicatori del Database Climatologico, ovvero dicembre 2012 - novembre 2020, assicurando la migliore confrontabilità possibile tra stazioni e grandezze fisiche diverse.

Il Catalogo contiene **26 indicatori pluviometrici** derivati dai seguenti parametri:

- **cumulati di precipitazione** (o altezze), misurati in millimetri
- **intensità di pioggia**, cioè la quantità di acqua precipitata nell'unità di tempo, misurata in mm/h
- **durata dell'evento**, misurata in minuti con riferimento a 35 stazioni del bacino aerologico milanese esteso e 3 dettagli temporali (mensile, stagionale, annuale)

Box 7. INDICATORI CLIMATICI DEL CATALOGO DELLE PRECIPITAZIONI

Cumulato medio (mm)
Cumulato mediana (mm)
Massimo cumulato giornaliero (mm)
Intensità media - evento di 10 minuti (mm/h)
Intensità massima - evento di 10 minuti (mm/h)
Intensità massima assoluta istantanea (mm/h)
Giorni di pioggia (n° medio)
Massimo numero giorni di pioggia consecutivi (n°)
Durata precipitazioni 25-esimo percentile (min)
Durata precipitazioni 50-esimo percentile (min)
Durata precipitazioni 75-esimo percentile (min)
Durata precipitazioni 95-esimo percentile (min)
Durata precipitazioni 99-esimo percentile (min)
Assenza precipitazioni 25-esimo percentile (min)
Assenza precipitazioni 50-esimo percentile (min)
Assenza precipitazioni 75-esimo percentile (min)
Assenza precipitazioni 95-esimo percentile (min)
Assenza precipitazioni 99-esimo percentile (min)
Intensità precipitazioni 25-esimo percentile (mm/h)
Intensità precipitazioni 50-esimo percentile (mm/h)
Intensità precipitazioni 75-esimo percentile (mm/h)
Intensità precipitazioni 95-esimo percentile (mm/h)
Intensità precipitazioni 99-esimo percentile (mm/h)
Eventi con Precipitazioni >= 5 mm in 10 minuti (n° medio di accadimenti)
Eventi con Precipitazioni >= 15 mm in 30 minuti (n° medio di accadimenti)

Eventi con Precipitazioni >= 30 mm in 60 minuti (n° medio di accadimenti)
Variazione dei cumulati (solo Milano Centro)
Variazione delle intensità (solo Milano Centro)
Variazione dei giorni di pioggia (solo Milano Centro)

NOTA: si consulti l'appendice D.3 per le metodologie di calcolo degli indicatori pluviometrici

La base dati di partenza è molto dettagliata: dati elementari di 10 minuti per tutte le stazioni. Fanno eccezione le sole Trezzo sull'Adda, Busto Arsizio ACCAM e Saronno della rete ARPA, con dati di campionamento superiori a 10 minuti: per tali stazioni è di conseguenza disponibile un numero ridotto di indicatori.

La conoscenza dei metadata di stazione, in particolar modo di latitudine e longitudine, permette la rappresentazione su mappa degli indicatori e una loro analisi di tipo spaziale sull'intero dominio. La Figura 5.26 riporta la **distribuzione spaziale dei cumulati estivi di precipitazione:** è possibile osservare come nel trimestre estivo delle precipitazioni di tipo convettivo (par. 3.3) tendano ad essere più abbondanti nella zona nord-orientale del bacino, mentre i valori più bassi di cumulato si hanno in corrispondenza delle stazioni meridionali. Differenze di cumulato si notano anche all'interno della stessa città di Milano, con i valori più elevati registrati dalle stazioni site nella parte settentrionale della città.

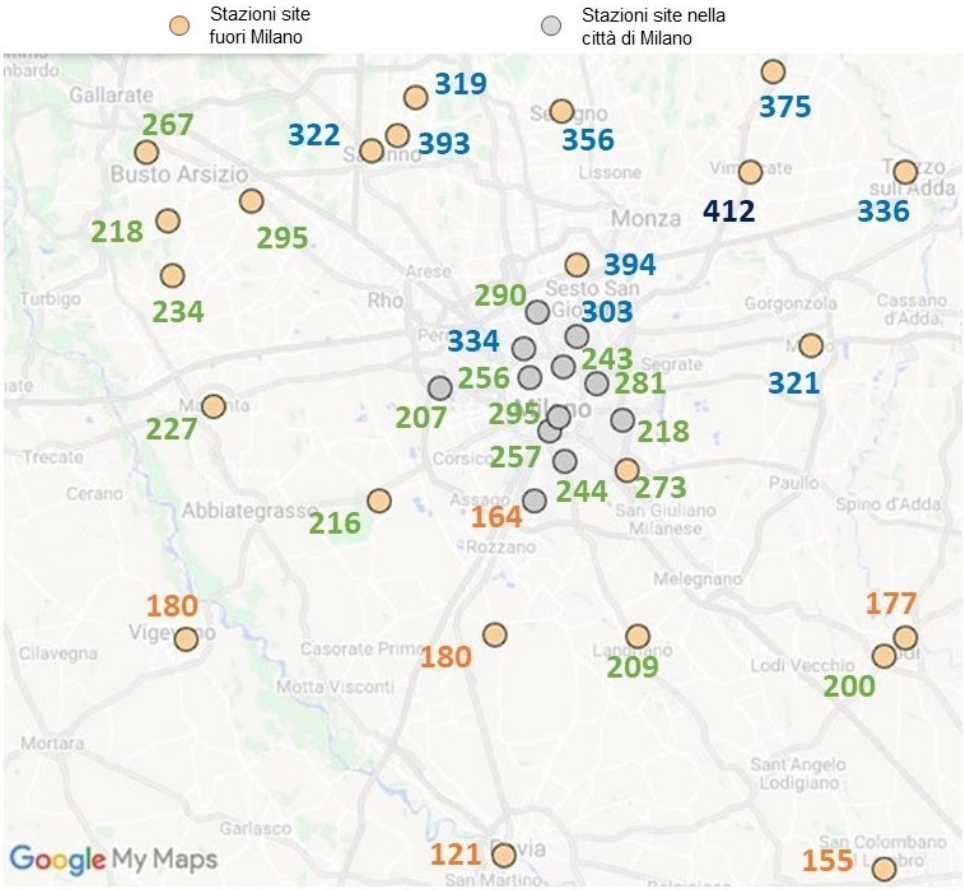

Figura 5.26 Precipitazioni cumulate medie (mm) per la stagione estiva
(Catalogo delle Precipitazioni ClimaMi)

Nella Figura 5.27 è invece rappresentato il numero medio annuo di episodi che registrano un cumulato di almeno 15 millimetri in mezz'ora, catalogabili tra gli episodi brevi ma intensi. Anche in questo caso risulta evidente come gli episodi intensi siano più frequenti sui settori settentrionali del bacino, mentre tendono a diminuire nettamente spostandosi verso sud-ovest.

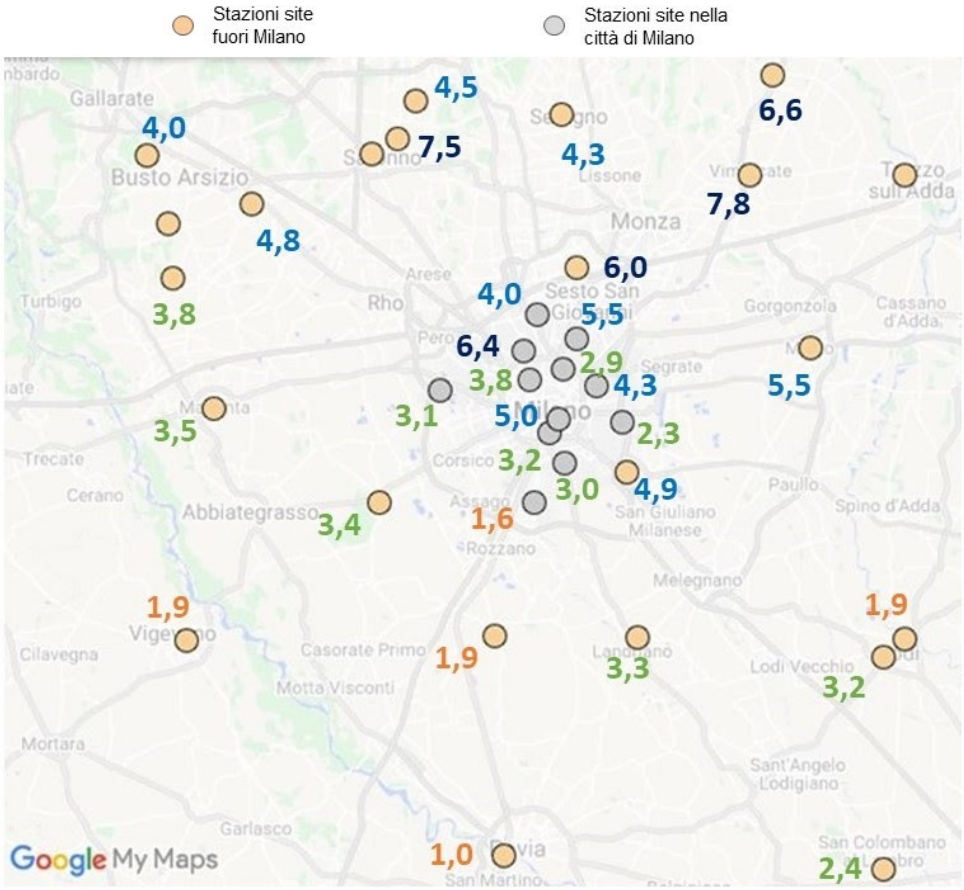

Figura 5.27 N° medio annuo degli Eventi con Precipitazioni ≥ 15 mm in 30 minuti
(Catalogo delle Precipitazioni ClimaMi)

Per la sola stazione di Milano Centro, per la quale è disponibile una serie di dati giornalieri sufficientemente lunga, sono presenti tre indicatori aggiuntivi riferiti al periodo 1900-2020:

- **Variazione dei cumulati (mm/anno)**
- **Variazione delle intensità (mm/h/anno)**
- **Variazione dei giorni di pioggia (giorni/anno).**

Ne emerge che, ad una **variazione praticamente nulla del cumulato annuo**, corrispondono:

- un **aumento delle intensità di circa 0.14 mm/h all'anno**
- una **diminuzione del numero di giorni di pioggia pari a -0.25 giorni all'anno**, cioè un giorno in meno ogni quattro anni.

Tali valori sottolineano come a Milano (e per estensione nel bacino aerologico milanese) **la tendenza alla diminuzione dei giorni di pioggia si accompagna ad un aumento degli eventi intensi**.

5.4.3 Le Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP)

Le Linee Segnalatrici o Curve di Probabilità Pluviometrica (LSPP) esprimono la relazione tra le altezze massime e le durate di pioggia che si possono verificare in un determinato luogo, per un assegnato valore di Tempo di Ritorno. Queste informazioni sono fondamentali per la realizzazione di opere idrauliche strettamente connesse agli eventi meteorici. Nell'impiego delle LSPP è fondamentale tenere presente sia come varia la distribuzione delle piogge sul territorio, in particolare in presenza di fenomeni temporaleschi, sia come il cambiamento climatico abbia comportato, negli ultimi anni, una variazione del regime pluviometrico: fenomeni classificati con tempi di ritorno molto lunghi tendono ora a verificarsi con maggiore frequenza, anche più volte in uno stesso anno.

Dal Catalogo delle Precipitazioni è possibile scaricare, per 44 delle stazioni considerate dal Progetto ClimaMi:

- **le LSPP ovvero i parametri di Fit *a*, *b*, *c* della curva di distribuzione delle probabilità Gumbel** impiegata **per i tempi di ritorno di 2, 5, 10 e 20 anni**; il parametro *a* è accompagnato anche dalla relativa incertezza ±**σ** (*a*)
- **i massimi di precipitazione per ogni anno e con differenti risoluzioni temporali, dai 10 minuti alle 24 ore**

Per il calcolo delle LSPP sono stati utilizzati, per ogni stazione, tutti i dati disponibili a partire da rilevamenti con dettaglio di 10 minuti, in quanto **la stima della probabilità è tanto migliore quanto più lunga la serie di dati**. Di conseguenza le serie pluviometriche utilizzate per la realizzazione del Catalogo hanno lunghezze diverse tra loro: le più lunghe sono quelle delle stazioni di Milano Monviso MM (dal 1971) e Milano Centro FOMD (dal 1998).
Per maggiori dettagli sulla procedura di calcolo delle LSPP si faccia riferimento all'Appendice D.4.
Nelle figure 5.28 e 5.29 è possibile osservare le LSPP relative a 4 tempi di ritorno ottenute per le stazioni di Lodi FOMD e Milano Sondrio MM. Nel grafico vengono riportati anche i massimi misurati di altezza di precipitazione relativi a varie durate evento. La curva di probabilità relativa a 20 anni è rappresentata in tratteggio in quanto "estrapolata" da serie pluriennali di dati di lunghezza inferiore a 20 anni.

Nonostante siano state elaborate per l'intervallo che va dai 10 minuti alle 24 ore (1440 minuti), **le LSPP all'interno del Progetto ClimaMi sono da considerarsi utili soprattutto per fornire informazioni sulle durate e sui fenomeni pluviometrici sub-orari**, ovvero gli eventi che si stanno maggiormente intensificando negli ultimi anni e che stanno mettendo in crisi le reti di drenaggio meteorico urbano.

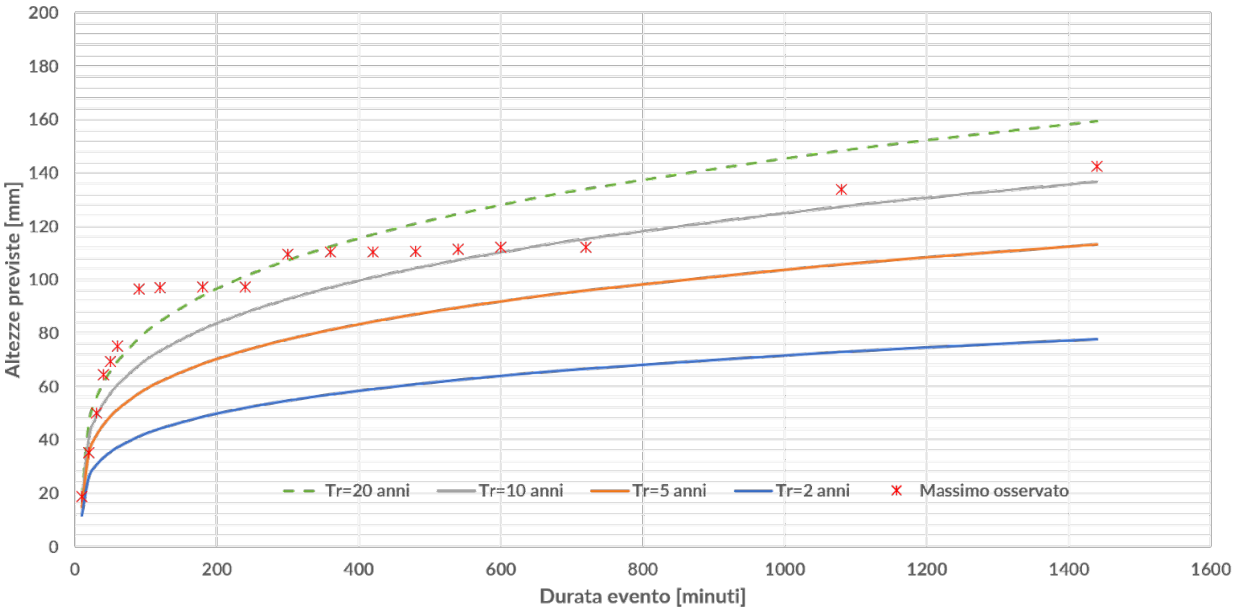

Figura 5.28 LSPP per la stazione di Lodi via Tortini FOMD relativa a 4 tempi di ritorno

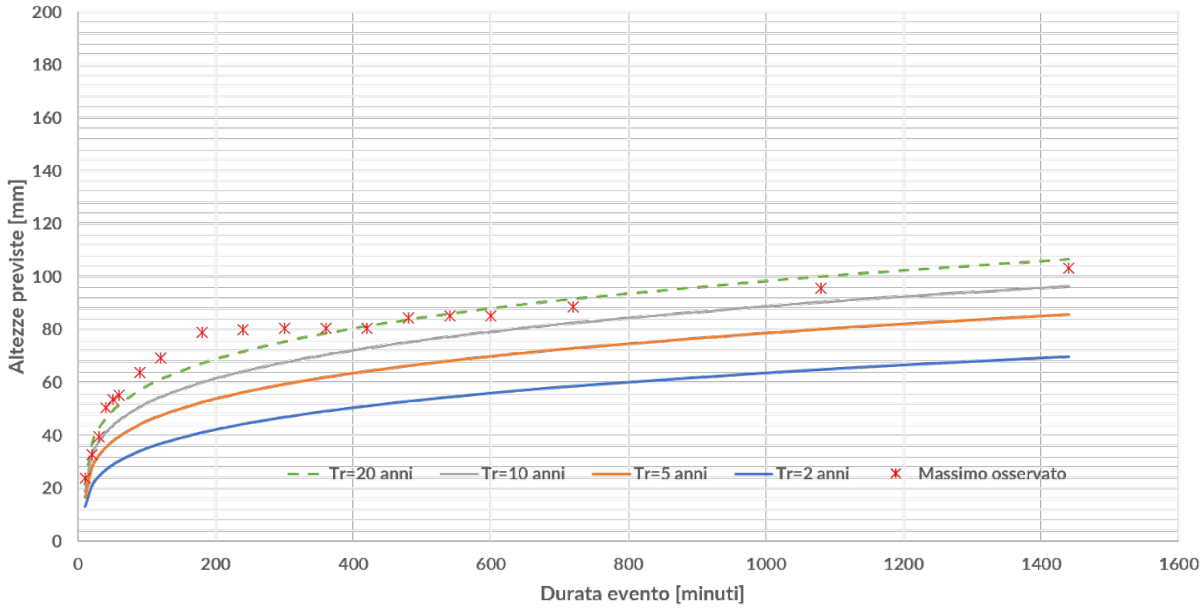

Figura 5.29 LSPP per la stazione di Milano Sondrio MM relativa a 4 tempi di ritorno