Cap. 4

–

USO DEGLI INDICATORI CLIMATICI

4. USO DEGLI INDICATORI CLIMATICI

Gli eventi meteorologici e il clima influenzano gran parte delle attività umane.

In molti casi è possibile esprimere tale influenza mediante funzioni o attraverso relazioni empiriche che permettono di quantificare la dipendenza di una grandezza di interesse da un dato parametro meteorologico o climatico e quindi l'impatto sulla stessa di un fenomeno meteorologico estremo, della normale variabilità meteorologica nonché di una variazione climatica.

Si pensi, a titolo esemplificativo, al settore energetico delle rinnovabili e alla mancanza di vento o sole in una o più giornate (variabilità meteo) che può ridurre la produzione di energia eolica/solare prevista (clima): la stessa formula (il rendimento d'impianto) fornisce la produzione attuale di energia elettrica se impiego i valori di temperatura e radiazione solare che caratterizzano il tempo meteorologico in atto oppure la produzione di energia attesa da progetto se utilizzo i dati climatici locali delle medesime variabili fisiche.

In altri casi l'influenza di meteo e clima non può essere quantificata, neanche empiricamente, ma la relazione comunque sussiste a livello qualitativo e l'informazione meteo-climatica costituisce un elemento di supporto alle decisioni.

4.1. Ambiti di applicazione in ambiente urbano

Nel progetto ClimaMi sono stati analizzati sei settori di attività professionale che hanno uno stretto legame con il clima e che afferiscono alle aree di possibile e auspicabile intervento in chiave di adattamento delle città agli impatti del cambiamento climatico:

- *la Progettazione di edifici* (involucro, impianti)
- *l'Energia*, relativamente al consumo energetico
- *la Gestione dei deflussi meteorici*
- *la Pianificazione territoriale*
- *la Gestione del verde pubblico*
- *la Salute pubblica e il benessere termoigrometrico*

4.1.1. Progettazione edificio-impianto

L'analisi delle condizioni climatiche locali è indispensabile per minimizzare il consumo energetico dell'edificio e massimizzare le condizioni di benessere dei suoi occupanti. Si applica sia alle nuove costruzioni che al parco edilizio già esistente per:

- **il dimensionamento degli impianti di climatizzazione**
- **il dimensionamento dell'involucro**
- **i processi di diagnosi, monitoraggio e ottimizzazione delle prestazioni energetiche**

Per poter effettuare analisi dettagliate del sito **in fase di progettazione e per i dimensionamenti del sistema edificio-impianto** si utilizzano specifici indicatori climatici, oltre ai valori medi ed estremi mensili ed annuali di temperatura, precipitazioni e radiazione solare. Tra questi, sono presenti nel Database ClimaMi:

- il **Giorno medio mensile**, ovvero i 24 valori medi orari delle variabili meteorologiche fondamentali rappresentativi dell'andamento giornaliero medio per ciascun mese dell'anno, utile nella fase di analisi parametrica;
- la **Temperatura esterna invernale di progetto per gli edifici con involucro pesante o normale**, per il dimensionamento degli impianti tecnici per la climatizzazione invernale (es. calcolo della potenza di picco dell'impianto di riscaldamento), corrispondente alla temperatura a cui, nella stagione invernale (dic-gen-feb), corrisponde una frequenza cumulata del 97,5% dove per "frequenza cumulata" s'intende la percentuale dei valori orari di temperatura che risultano superiori ad un determinato limite (i.e. solo il 2,5% delle temperature orarie è inferiore alla *temperatura esterna invernale di progetto*) (Figura 15)

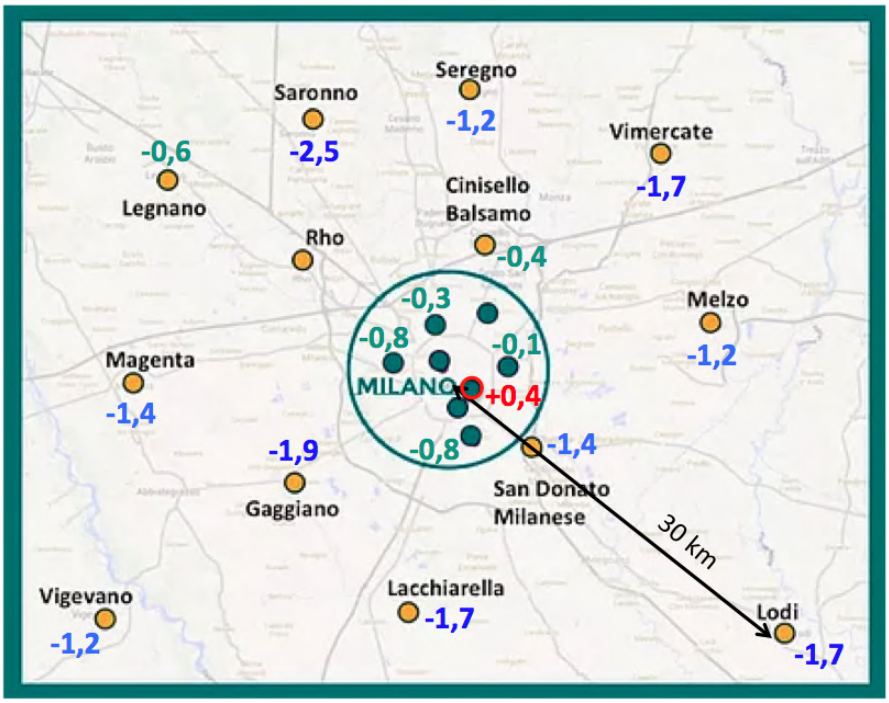


Figura 15 - Temperature di progetto invernali per involucri normali/pesanti (progetto ClimaMi)

- la **Temperatura esterna invernale di progetto per gli edifici con involucro leggero**, per il dimensionamento degli impianti tecnici per la climatizzazione invernale (es. calcolo della potenza di picco dell'impianto di riscaldamento), corrisponde una frequenza cumulata del 99% dove per "frequenza cumulata" s'intende la percentuale dei valori orari di temperatura che risultano superiori ad un determinato limite (i.e. solo l'1% delle temperature orarie è inferiore alla temperatura esterna invernale di progetto)
- la **Temperatura esterna estiva di progetto**, per il dimensionamento degli impianti tecnici per la climatizzazione estiva, corrispondente alla media delle temperature massime giornaliere nel periodo estivo. NOTA: la Temperatura esterna estiva di progetto, nel Database ClimaMi ver. 01, corrisponde all'indicatore Temperatura media delle massime giornaliere nei dettagli temporali Stagionale (estate) o Mensile (luglio, agosto)
- l'**Escursione giornaliera di temperatura**, sia massima assoluta che media delle massime, per diversi dettagli temporali (decadale, mensile, stagionale e annuale)

- la **Radiazione solare media giornaliera e massima** estiva e invernale, per il calcolo del carico dei sistemi di raffrescamento, della quantità di calore che l'involucro edilizio è in grado di guadagnare dall'esterno attraverso le superfici vetrate, del dimensionamento di sistemi passivi/attivi di riscaldamento (serra solare, muro di Trombe, roof pond/ solare termico), per la progettazione di sistemi fotovoltaici e la valutazione del livello di illuminamento naturale
- l'**Umidità relativa**, media e massima stagionale
- la **Rosa dei venti in 16 settori**, in aggiunta alla direzione prevalente e alla velocità media del vento, con dettaglio mensile e stagionale oltreché annuale, per un calcolo più dettagliato della resistenza termica dell'involucro edilizio (coefficienti di convezione) del carico per infiltrazione attraverso l'involucro
- i **Gradi Giorno** riferiti stagione termica invernale del territorio coperto da ClimaMi (15 ottobre - 15 aprile, DPR 412/93)
- i **Gradi Giorno Estivi**, riferiti alla stagione termica estiva (giugno - agosto) (si veda Appendice C - Nota Metodologica)

Tra gli strumenti di analisi utilizzati nelle attività di diagnosi/efficientamento energetico e di ottimizzazione nella gestione degli impianti di riscaldamento, in cui si utilizzano indicatori climatici (**Temperatura media dell'aria esterna, Gradi Giorno**), si citano:

- l'analisi del rapporto clima/Potenza Termica Edificio PTE (Figura 16)
- l'analisi del consumo unitario per Grado Giorno - Consumo per Unità Climatica CUC

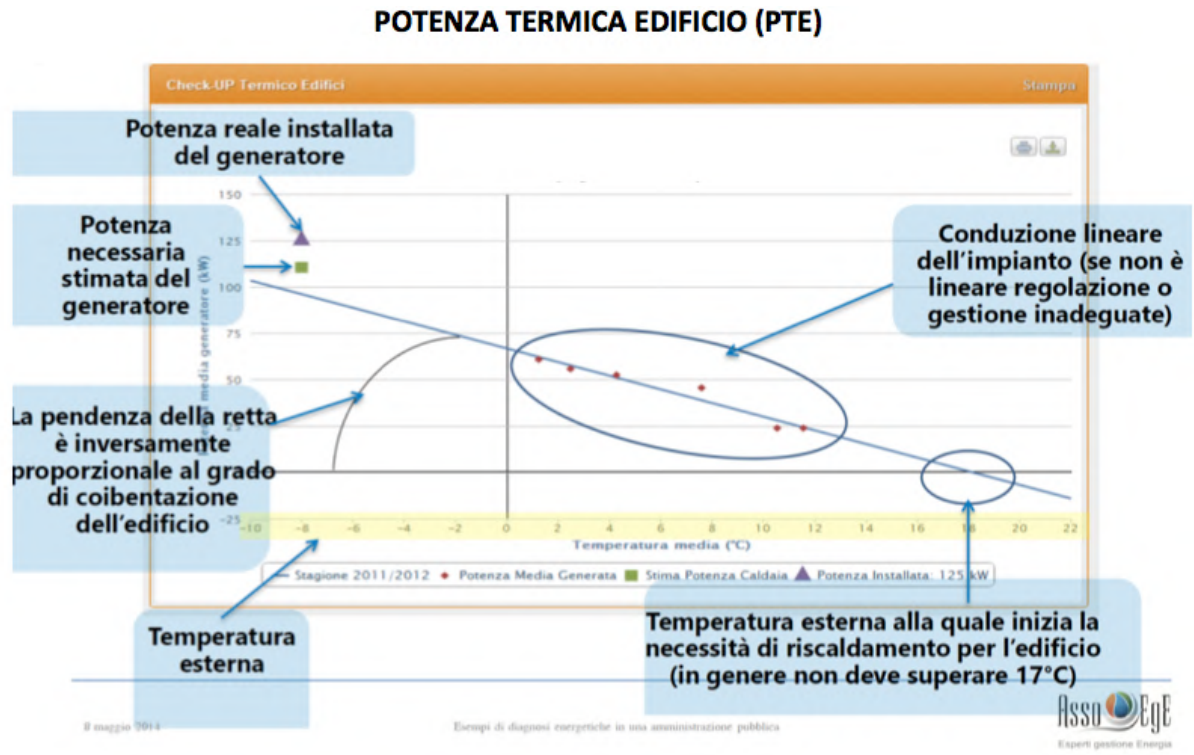


Figura 16 - Rappresentazione grafica del consumo energetico o del fabbisogno di calore dell'edificio per stagione termica in funzione della temperatura esterna (metodo UNI EN 15603)

L'analisi del consumo unitario medio di combustibile di un edificio viene rapportato ai Gradi Giorno (reali e sito riferiti) ottenendo una efficace e sintetica indicazione, il CUC (kWh/GG), indipendente dalle condizioni climatiche stagionali. L'andamento del CUC in una data stagione di riscaldamento rispetto ad una baseline o ad un benchmark interno/esterno fornisce le seguenti informazioni:

- andamento non costante orizzontale: ottimizzazione necessaria a livello gestionale
- andamento quasi costante ma maggiore di quello target: necessità interventi di miglioramento (coibentazione, adeguamento potenza impianto, ecc.)

4.1.2. Energia

Quando si parla di consumi energetici in ambito urbano, si fa riferimento ad una molteplicità di attività relazionate a vario titolo al clima e ai suoi indicatori. In particolare, ci si riferisce ai cosiddetti consumi HVAC (*Heating, Ventilation, Air Conditioning*), che interessano trasversalmente industria, terziario e residenziale.

Si possono distinguere tre tipologie di attività e relativi indicatori climatici di "riferimento":

- **contabilizzazione energetica**
- **efficientamento energetico**
- **gestione e monitoraggio del consumo energetico**

Attività riconducibili alla **contabilizzazione energetica** sono riscontrabili nei seguenti segmenti:

- la contrattualistica;
- la fatturazione dei consumi;
- la gestione e la manutenzione degli impianti termici (riscaldamento e raffreddamento estivo).

I *contratti servizio energia* e i *contratti a prestazioni energetiche garantite*) sono tra gli esempi più diffusi e significativi sia per il parco edifici pubblico che per quello privato residenziale. Nelle linee guida di settore si richiama la necessità dell'uso di dati climatici locali (FiFigura 17).

Figura 17 – Linea Guida sui contratti tipo servizio energia nel settore residenziale[14]

L'indicatore climatico utilizzato è il **Grado Giorno**, 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 quasi tutte le località ricadenti nell'area territoriale del progetto ClimaMi per la stagione termica invernale (dal 15 ottobre al 15 aprile - fascia climatica E).

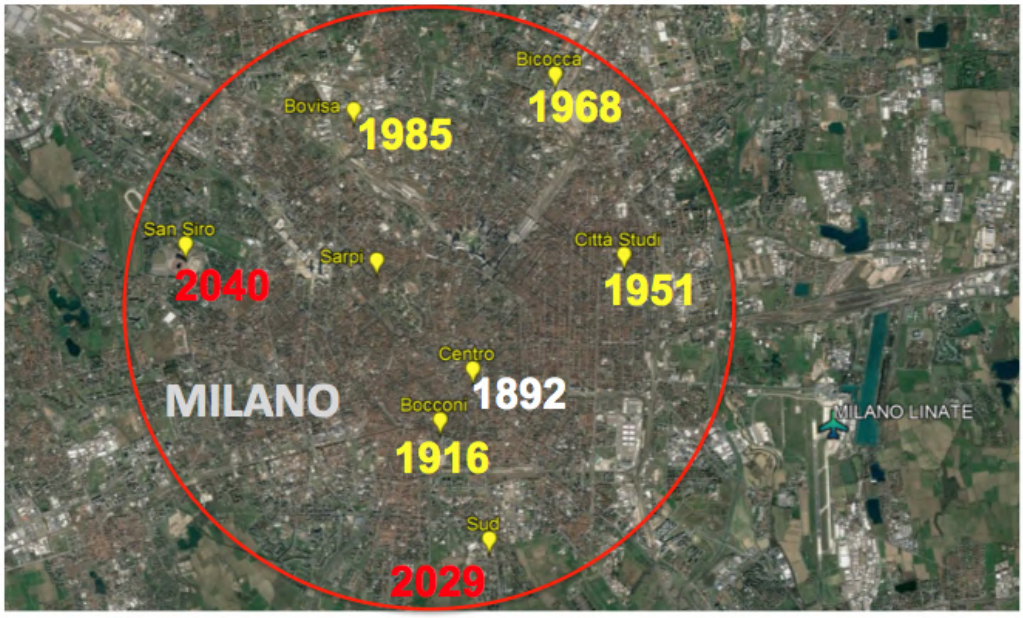
Le figure che seguono (Figura 18 e Figura 19) mostrano le differenze del totale medio stagionale di Gradi Giorno tra le diverse aree urbane coperte dal Progetto ClimaMi e

[14] CCIAA Milano, https://www.milomb.camcom.it/contratti-tipo

all'interno della città stessa di Milano. Sono elencati alcuni altri indicatori climatici utili allo scopo.

I **gradi giorno di una località** corrispondono alla somma estesa a tutti i giorni, in un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura indoor di confort, fissata convenzionalmente per ogni Paese (20°C in Italia, **DPR 412/93**), e la temperatura media esterna giornaliera. L'unità di misura utilizzata è il Grado Giorno (GG).

GG - valore medio per stagione termica



DPR 412/93: 2404 GG per Milano e comuni limitrofi

Figura 18 – Indice di fabbisogno energetico da riscaldamento: Gradi Giorno (progetto ClimaMI)

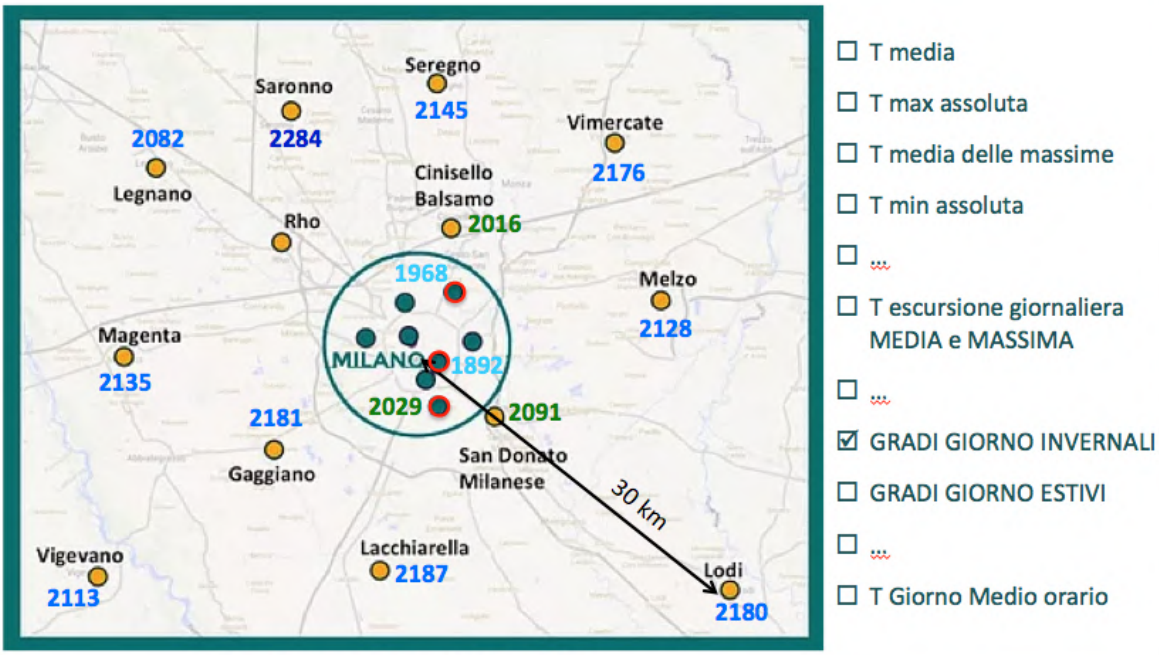


Figura 19 – Gradi Giorno: valore medio in stagione termica invernale (progetto ClimaMI)

Né a livello di legislazione nazionale o regionale né a livello di norme tecniche è invece definito un analogo indicatore climatico per il fabbisogno energetico da condizionamento estivo, nonostante i consumi energetici - quasi prevalentemente elettrici - siano una voce significativa del bilancio energetico nazionale e risultino in continuo aumento.

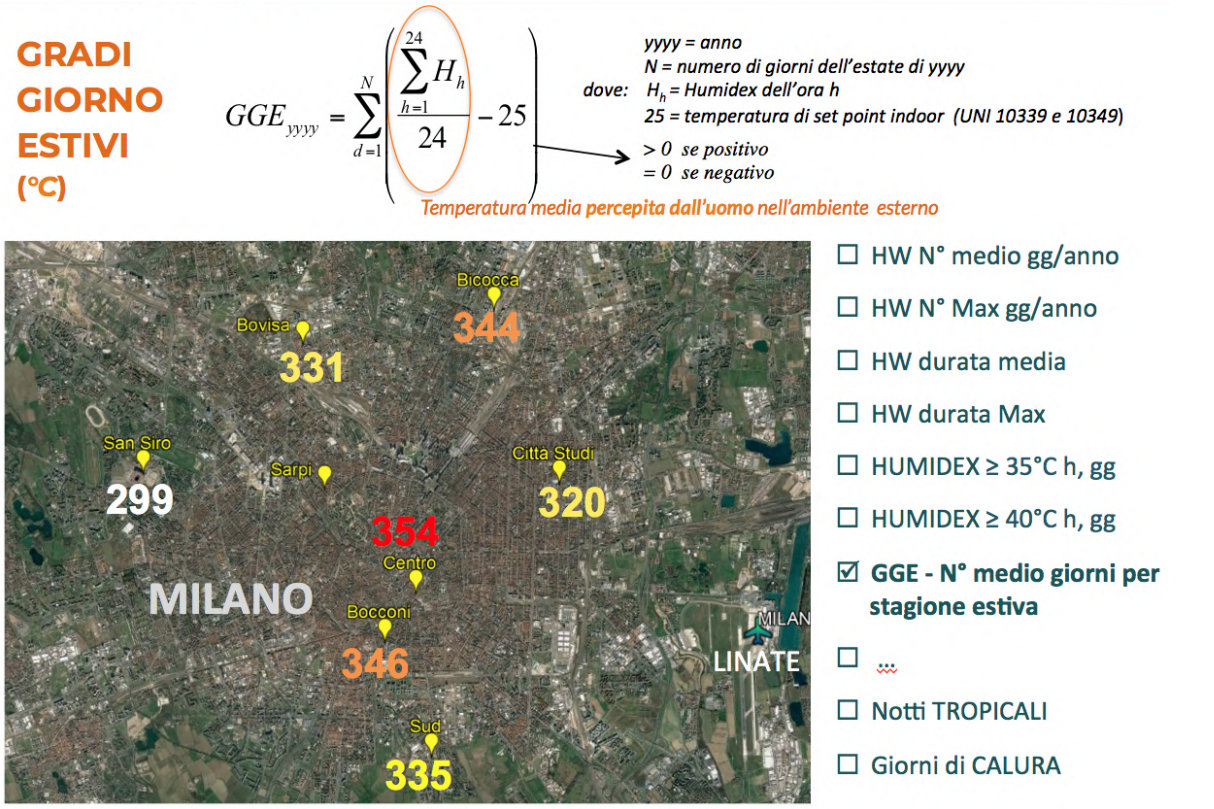


Figura 20 – Indice di fabbisogno estivo di raffrescamento: Gradi Giorno Estivi, valore medio per stagione termica estiva (progetto ClimaMi)

Per analogia con la stagione termica nazionale e come in uso nei paesi anglosassoni (*Cooling Degree Days*), si è introdotto il **Grado Giorno Estivo** (Figura 20). 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** (*si veda Par. 4.1.6*). La diversa necessità di condizionamento estivo legata al microclima locale, quantificata tramite i Gradi Giorno Estivi, è mostrata in Figura 21.

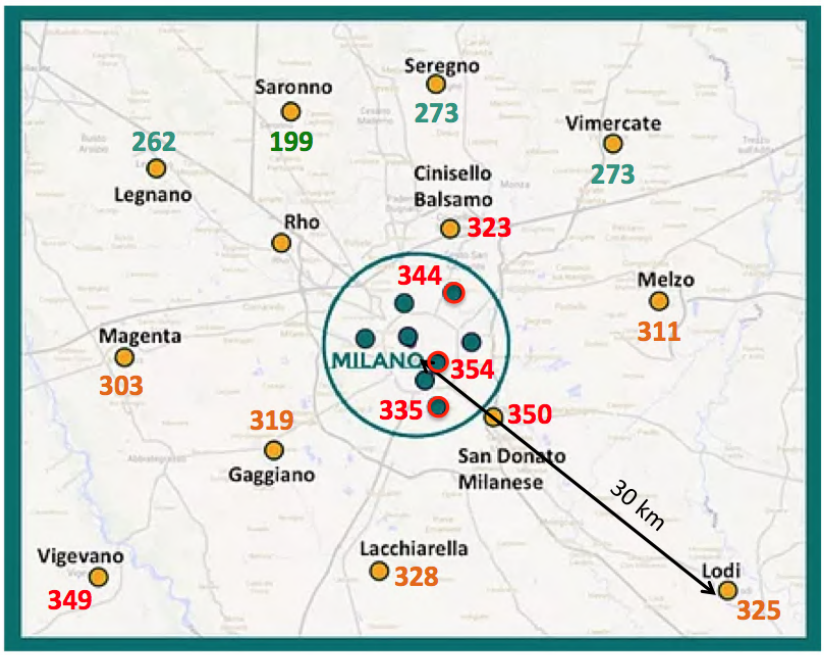


Figura 21 – Gradi Giorno Estivi: valore medio per stagione termica estiva (progetto ClimaMi)

Parlando di **efficientamento energetico**, le attività che necessitano di dati climatici locali e aggiornati sono principalmente:

- le certificazioni energetiche;
- le diagnosi energetiche;
- le valutazioni di prestazioni energetiche (Indicatori di Prestazione Energetica IPE, Benchmark interni/esterni).

Nelle Linee Guida relative alla valutazione delle prestazioni energetiche del parco immobiliare si fa specifico riferimento ai dati climatici quali fattori significativi che possono influenzare i consumi energetici delle utenze. Tali dati vanno dunque misurati/reperiti per calcolare IPE e benchmark interni relativi ai consumi di quelli che vengono definiti Servizi Generali - Climatizzazione. In Figura 22, a titolo d'esempio, si riportano le linee guida di Assoimmobiliare e ABI condivise con ENEA.

Figura 22 –Linee guida di Assoimmobiliare e ABI Energia[15]

In letteratura si ritrovano i seguenti indicatori di prestazione energetica per i consumi HVAC negli edifici:

$IPE = \frac{\text{consumo energetico}}{m^2}$	consumo di energia per unità di superficie (lorda, disperdente) climatizzata
$IPE = \frac{\text{consumo energetico}}{m^3}$	consumo di energia per unità di volume lordo climatizzato
$IPE = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{Gradi Giorno}}$	consumo di energia da riscaldamento per unità di Grado Giorno
$IPE = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{Gradi Giorno Estivi}}$	consumo di energia da raffrescamento per unità di Grado Giorno Estivo

[15] http://www.agenziaefficienzaenergetica.it/per-le-imprese/diagnosi-energetiche/normativa-casi-di-applicazione

Nei primi due casi, non si riesce a distinguere la quota di consumi energetici da ascrivere al sistema involucro-impianto (e a eventuali inefficienze strutturali e/o di conduzione) e quella determinata dal clima specifico.
Da cui, per tener conto sia di superficie/volumetria che del clima, una formulazione del seguente tipo risulta più completa:

$$IPE = \frac{\text{consumo energetico}}{m^2 \times \text{Gradi Giorno}}$$

Per **gestione e monitoraggio del consumo energetico** ci si riferisce ad attività quali:

- l'efficientamento energetico
- i sistemi di monitoraggio e gestione dell'energia

Nel *Final Draft* FprEN 17267 del CEN-CLC/JWG 9 "*Energy measurement and monitoring plan for organisations - design and implementation*" ICS 27.010 del febbraio 2019 si profila uno standard europeo e una metodologia per progettare, installare, implementare e mantenere nel tempo un piano di misurazione dell'energia e dei **fattori che influenzano i consumi e le prestazioni energetiche** dell'organizzazione, tra cui i **parametri meteorologici e climatici**.

4.1.3. Gestione del deflusso meteorico urbano

Le attività di progettazione e gestione della laminazione/deflusso delle acque meteoriche in ambito urbano, in una logica di progettualità preventiva e di adattamento alla trasformazione del regime di piogge, necessitano di una conoscenza approfondita delle caratteristiche delle precipitazioni locali in termini di intensità (cumulato o altezza), durate, frequenze e localizzazione spaziale.
Dati dettagliati sugli apporti meteorici costituiscono infatti gli input in algoritmi progettuali e modellizzazioni idrauliche per la gestione degli allagamenti relativamente a:

- conduzione e potenziamento degli impianti di depurazione (vasche volano, sistemi di pompaggio e incremento delle sezioni di portata in uscita)
- progettazione di vasche di laminazione
- utilizzo del reticolo idrico superficiale e sotterraneo

- regolamentazione dell'invarianza idraulica e idrologica
- utilizzo di infrastrutture verdi urbane, per infiltrare o accumulare temporaneamente acqua piovana

La progettazione delle opere idrauliche avviene, di fatto, a partire dagli eventi meteorici e sulla base di tempi di ritorno di progetto "standard" spesso indicati a norma di legge. Sempre più frequentemente viene richiesta una valutazione del tipo «*cosa succede se l'opera progettata viene interessata da un evento con tempo di ritorno superiore a quello di progetto*»[16].

La caratterizzazione delle precipitazioni tramite indicatori climatici necessaria per far fronte alle diverse esigenze progettuali e gestionali nel campo non è univoca e le tradizionali ipotesi e definizioni relative agli apporti meteorici finora utilizzate nella modellazione idraulica e idrologica sono in fase di ripensamento: dalla definizione di evento di pioggia alla distribuzione temporale delle piogge durante il singolo evento e alla loro distribuzione areale rispetto al posizionamento del pluviometro.

Il tutto nel quadro di un clima non stazionario, ma in rapida evoluzione.

L'analisi statistica dei dati di precipitazione a 10 minuti nella stazione di Milano Centro dal 1998 ad 2108 ha restituito il seguente quadro della situazione:

- costanza delle precipitazioni in termini di quantitativi caduti a livello annuo
- variazione significativa nella distribuzione mensile delle precipitazioni
- riduzione del numero annuo di giorni di pioggia (≥ 1 mm), al tasso di 1 giorno in meno ogni 4 anni
- incremento dell'intensità di pioggia, al tasso di circa +1 mm/h ogni 6 anni (Figura 23)
- incrementi nelle durate dei fenomeni di precipitazione (quando piove, piove più a lungo) (Figura 24)
- incremento degli intervalli di tempo fra due eventi consecutivi (Figura 25)

[16] Mambretti, "Dati climatici e pluviometrici per la progettazione delle opere idrauliche" Corso di Capacity Building ClimaMi del 13/11/19 https://www.progettoclimami.it/formazione-2019-11-13

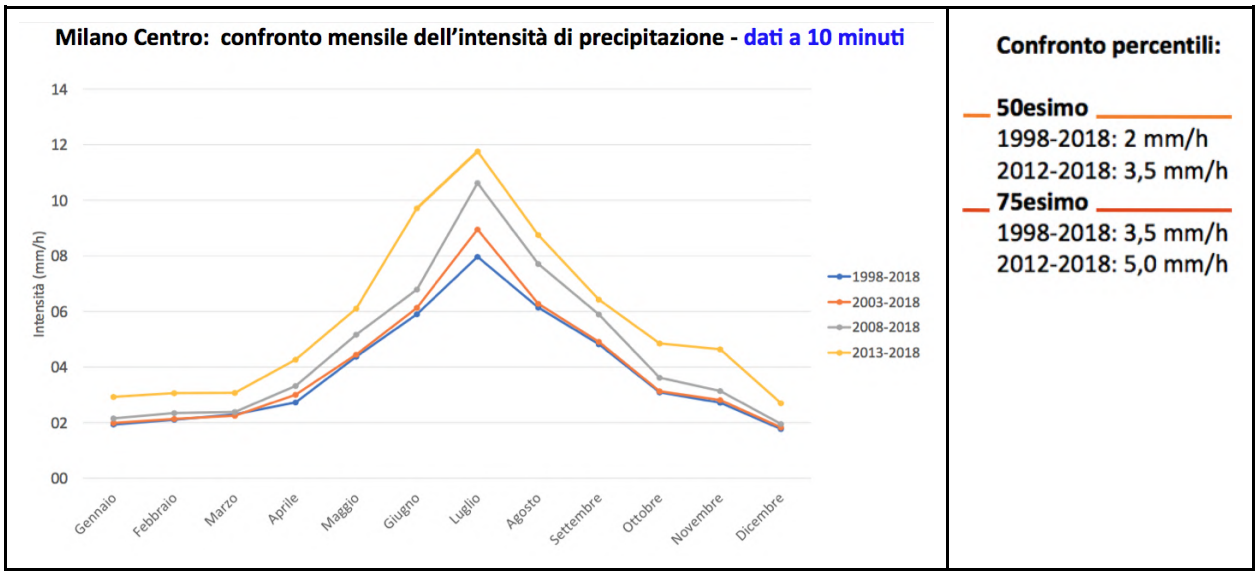


Figura 23 - incremento dell'intensità di pioggia, al tasso di circa +1 mm/h ogni 6 anni

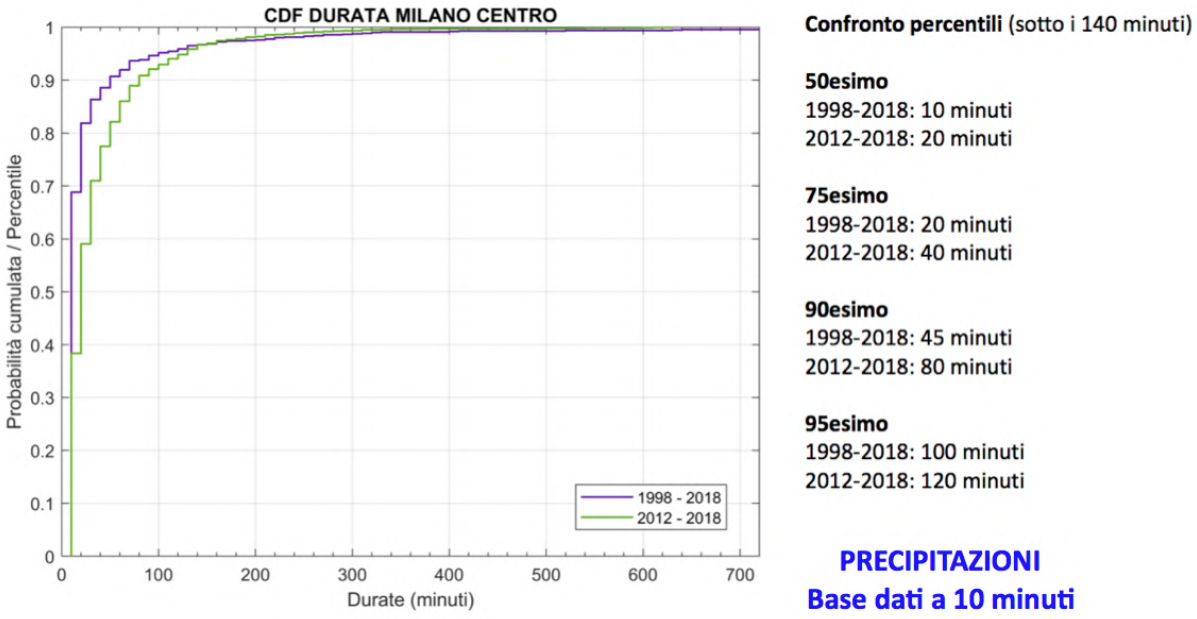


Figura 24 - Incrementi nelle durate dei fenomeni di precipitazione nell'ultimo decennio

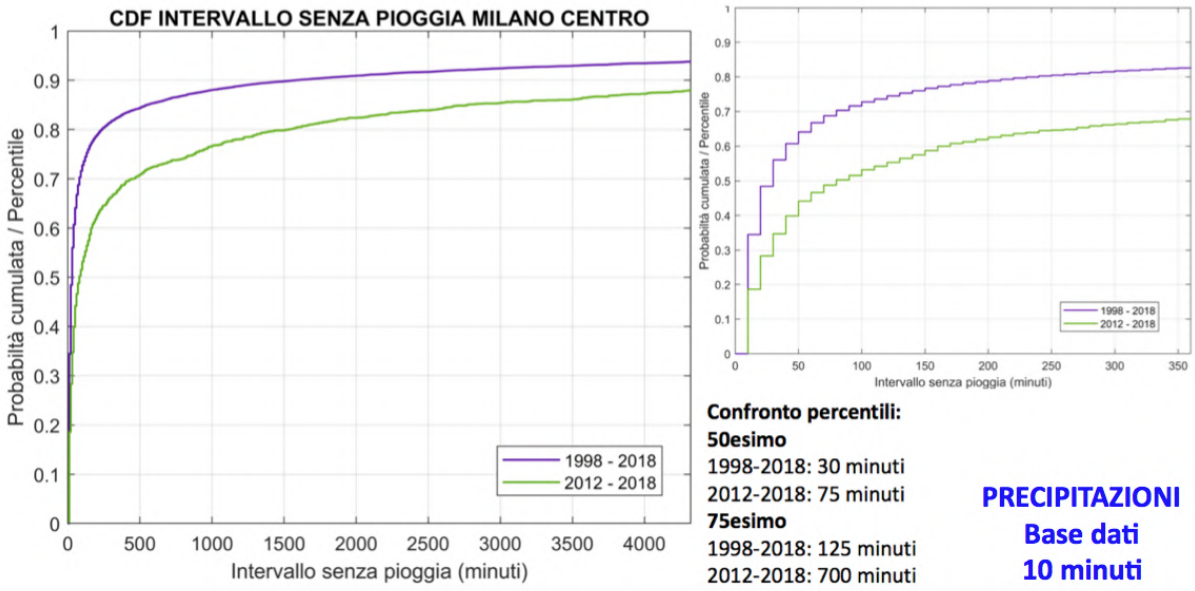


Figura 25 - incremento degli intervalli di tempo fra due eventi consecutivi nell'ultimo decennio

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.

Nel database di ClimaMi, oltre alle usuali statistiche sulle precipitazioni a base mensile, stagionale e annuale, sono presenti anche i seguenti indicatori climatici:

- Precipitazioni cumulate – mediana e media (Figura 26)
- Intensità di precipitazione - media, mediana e massima assoluta
- Intensità di precipitazione media delle massime su eventi di 10 minuti
- Giorni di pioggia (≥ 1 mm) consecutivi medi e massimi
- Giorni senza pioggia (< 1 mm) consecutivi medi e massimi
- Distribuzione di frequenza dei giorni di pioggia consecutivi
- Episodi brevi (10 minuti) intensi (≥ 5 mm) – numero medio/anno (Figura 27)
- Episodi semiorari intensi (≥ 15 mm) – numero medio/anno
- Episodi orari intensi (≥ 30 mm) – numero medio/anno

- Fulmini nube suolo – numero medio/km2 (dato comunale)

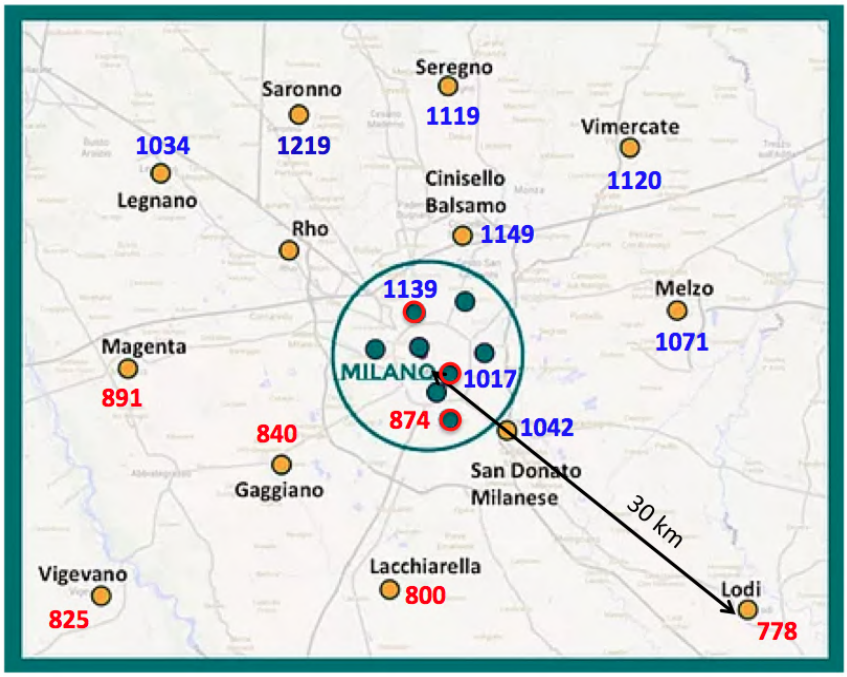


Figura 26 - Precipitazioni cumulate totali: media annua (progetto ClimaMi)

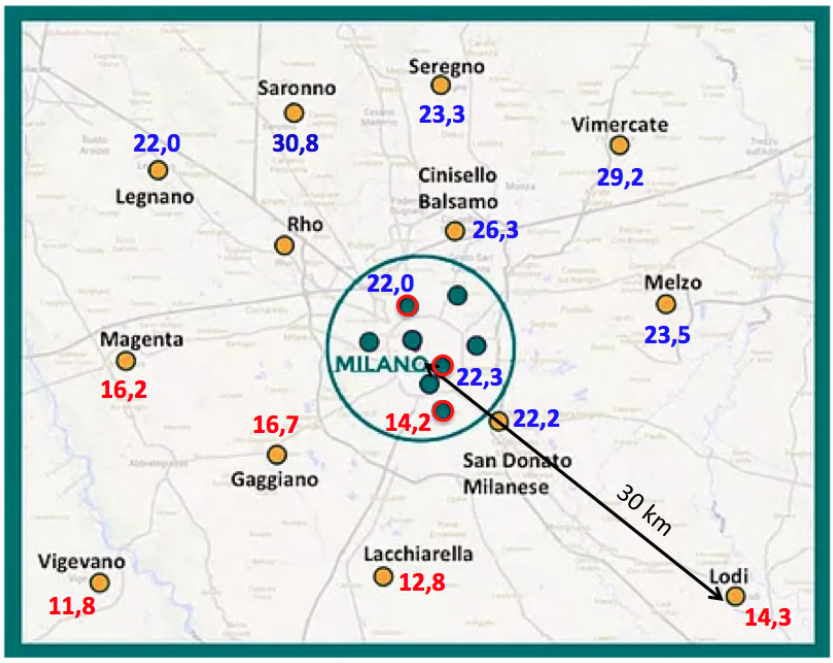


Figura 27 - Episodi di pioggia brevi (10 min) intensi (≥ 5 mm): numero medio annuo (progetto ClimaMi)

4.1.4. Pianificazione urbana

Le attività di pianificazione urbana in chiave di azione per l'adattamento agli impatti di un clima in continua e veloce trasformazione e con eventi intensi ed estremi in accentuazione investono contemporaneamente molteplici fronti (l'efficientamento energetico del parco edilizio pubblico e privato, l'uso del suolo, la mobilità, le attività produttive, le infrastrutture, la qualità dell'aria e dell'ambiente, ecc.) e riguardano ambiti intersettoriali delle amministrazioni pubbliche:

- i **Piani Clima**
- i **Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima** (PAES e PAESC)

ma anche gli strumenti di pianificazione ordinaria e specialistica quali:

- i **Piani di Governo del Territorio** (PGT) - sia in fase di Valutazione Ambientale Strategica e Piano di Monitoraggio del PGT che di valutazione e scelta della varianti in rapporto ai fattori del clima e del microclima (decisioni di sviluppo urbanistico, di localizzazione degli insediamenti abitativi, produttivi e delle infrastrutture, che si ripercuotono sul sistema territoriale complessivo e sulla capacità dello stesso di rispondere ai cambiamenti climatici in corso)
- i **Piani Particolareggiati** (clima e microclima devono concorrere a definire la forma, i volumi, le tipologie e l'articolazione esterna dei manufatti edilizi e a progettare le aree esterne, gli spazi tra gli edifici, l'arredo stradale e la vegetazione)
- i **Regolamenti Edilizi** e requisiti cogenti (incentivi e criteri d'intervento per l'edificazione e per la scelta ottimale delle diverse tipologie di insediamenti anche in funzione del clima; il recupero, la trasformazione, la progettazione del verde e degli spazi pubblici; incentivi volumetrici)
- i **Piani del Verde**, capaci di disegnare spazi in grado di contrastare e moderare il disagio termoigrometrico dello spazio urbano e i sempre più frequenti fenomeni climatici estremi.
- la **Relazione di Invarianza Idraulica e Idrologica**, per la laminazione delle acque di pioggia

Le scale spaziali implicate dalle varie attività di pianificazione urbana variano molto: dalla piazza al quartiere, da infrastrutture inter-quartiere e ambiti di rigenerazione all'intero territorio comunale. L'informazione climatica necessaria per caratterizzare adeguatamente l'area di interesse varia conseguentemente con la scala spaziale: dai valori sito-riferiti delle variabili climatiche (es. microclima della piazza rilevabile da una stazione meteorologica tradizionale) ai valori medi areali delle stesse (es. mappe dell'isola di calore cittadina i.e. mappe di temperatura, la cui elaborazione presuppone l'esistenza di reti dotate di un numero sufficiente di stazioni/sensori meteorologici tradizionali possibilmente accoppiate a dati da telerilevamento satellitare).

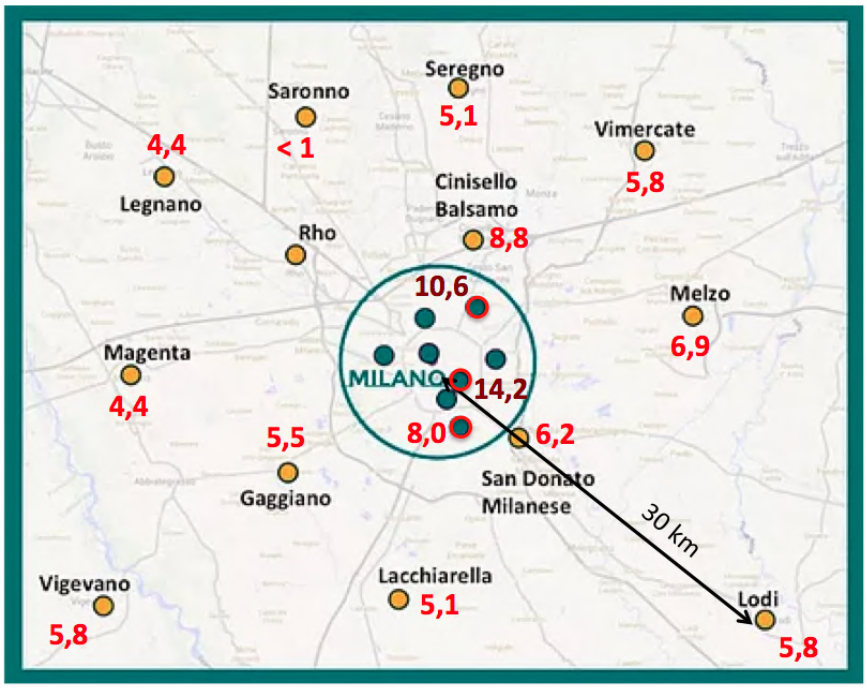


Figura 28 – Ondate di Calore: N° medio di giorni/anno

In questa prima versione del Sistema Informativo Clima Urbano (SI-CU) vengono forniti indicatori climatici sito-riferiti (Database ClimaMi), specifici per il contesto urbano e di ausilio nella valutazione di vari aspetti e problematiche della pianificazione territoriale:

- le **Temperature** e i **Gradi Giorni invernali ed estivi** per tutto ciò che concerne l'energia per la climatizzazione, l'efficientamento dei sistemi sia di produzione sia di consumo, la predisposizione all'uso di fonti energetiche alternative

- le **Temperature dell'aria massime estive**, le **Ondate di calore** (frequenze medie e massime, durate) (Figura 28), le **Notti Tropicali**, la **Temperatura percepita** per la qualità microclimatica dello spazio pubblico (indice Humidex, si veda Par. 4.1.6), il benessere e la salute dei cittadini durante gli eventi di caldo estremo (Figura 29)

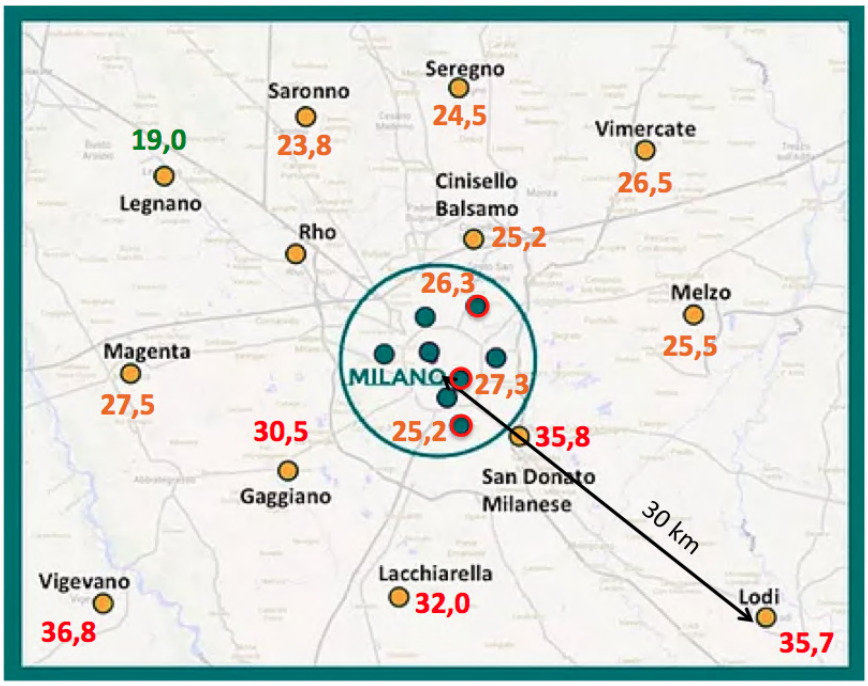


Figura 29 – Episodi di disagio microclimatico:
N° giorni/anno con almeno un valore orario di Humidex ≥ 35°C

- la **Rosa dei venti** per quanto attiene alle localizzazioni residenziali, produttive e infrastrutturali
- l'**Intensità e la frequenza degli eventi di precipitazioni forti e di breve durata**, per i conseguenti problemi di allagamento, disservizi e danni a infrastrutture, edifici pubblici e privati

"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

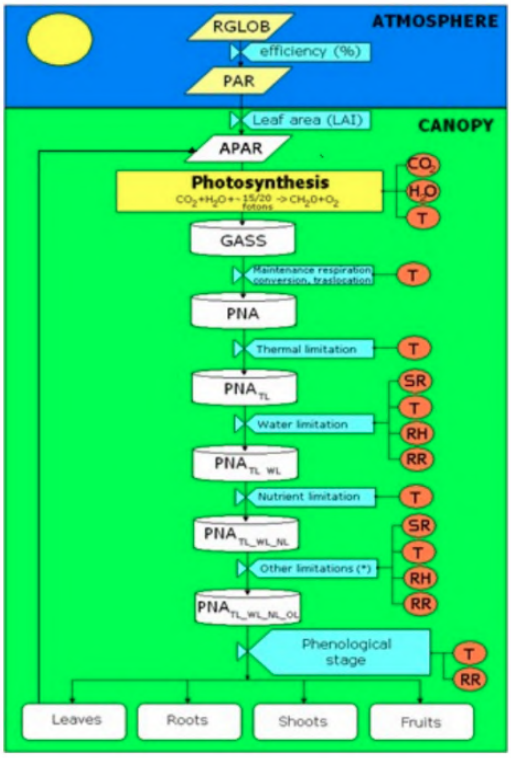
ombre e delle temperature esterne che vengono a crearsi per effetto del microclima, al regime dei venti, alla sistemazione delle aree verdi e della relativa vegetazione"[17].

4.1.5. Gestione del verde urbano

L'utilizzo del verde nelle aree urbane 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, mitigazione dell'isola di calore). Il clima urbano a sua volta influenza in modo rilevantissimo 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. 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** di temperatura, umidità dell'aria, precipitazioni, radiazione solare **dettagliati a livello decadale** per la "ricostruzione" dei periodi utili alle varie fasi vegetative (Figura 30) e gestionali del verde, specie per specie[18].

[17] F. Musco, L. Fregolent "Pianificazione urbanistica e clima urbano - Manuale per la riduzione dei fenomeni di isola di calore urbano", 2014. http://www.iuav.it/Ateneo1/chi-siamo/pubblicazi1/freschi-di/musco_UHI_poligrafo.pdf

[18] 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 https://www.progettoclimami.it/formazione-2019-11-07

Figura 30 – Modello schematico di vegetale e influenza delle variabili climatiche
T=temperatura, RH=umidità relativa, SR=radiazione solare globale, RR=precipitazioni

In particolare, per tener conto degli effetti della temperatura si utilizzano le somme termiche o ore normali di caldo (curve di risposta alla temperatura).

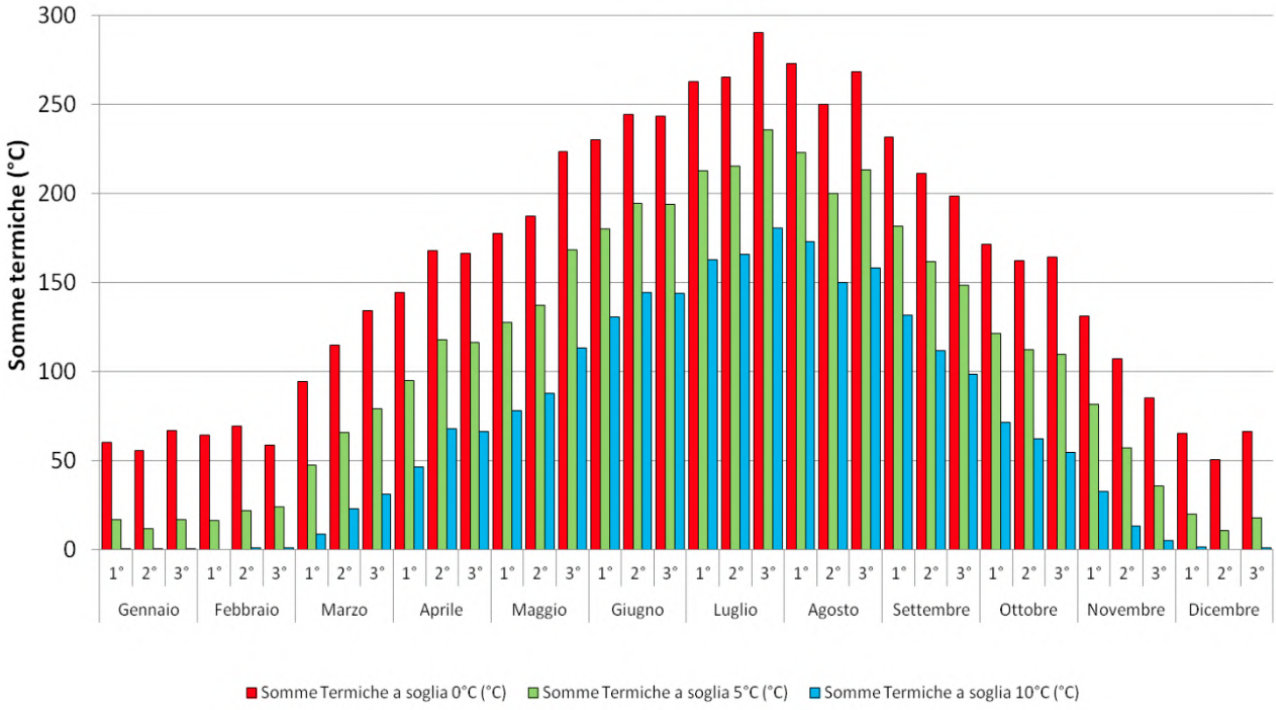


Figura 31 - Somme termiche decadali in Milano Centro (progetto ClimaMi)

Nel Database di ClimaMi sono presenti i dati utili a quantificare le risorse e le limitazioni idriche, termiche, radiative, da vento. Oltre alle usuali statistiche di valori medi ed estremi, sono quantificati i seguenti indicatori specifici:

- le **Somme termiche a soglia 0°C** (Figura 31)
- le **Somme termiche a soglia 5°C** (Figura 31)
- le **Somme termiche a soglia 10°C** (Figura 31)
- le **Escursioni giornaliere di temperatura**
- le **Ondate di calore**, in durata e intensità
- l'**Intensità di precipitazione**
- i **Giorni di gelo**

- i **Giorni di ghiaccio**
- le **Ore con Umidità relativa media < 10%**
- le **Ore con Umidità relativa media > 90%**
- gli **Eventi con raffica > 5 m/s** su 10 minuti
- gli **Eventi con raffica > 10 m/s** su 10 minuti
- gli **Eventi con raffica > 15 m/s** su 10 minuti
- gli **Eventi con raffica > 20 m/s** su 10 minuti

4.1.6. Il benessere termoigrometrico e la salute pubblica

Il "caldo" è un fenomeno complesso che risulta dall'interazione tra la radiazione solare, la temperatura, l'umidità atmosferica e la ventilazione.

Periodi di caldo estremo 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.

A tali periodi ci si riferisce con il termine di "Ondate di Calore". L'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO) e l'Organizzazione Mondiale della Salute (WHO) congiuntamente definiscono l'**Ondata di Calore** come un evento in cui le temperature estreme giornaliere diurna e notturna sono superiori a determinate soglie locali (corrispondenti al 95° percentile delle temperature rispettivamente massime diurne e minime notturne in periodo estivo) e l'evento perdura per 2 o più giorni[19] .

Le soglie di temperatura estrema diurna e notturna vanno quindi calcolate per ogni località d'interesse su un periodo climatico di riferimento trentennale (WMO CLINO CLImatic NOrmals: 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 1991-2020 ancora a venire).

Nel Database ClimaMi si sono considerati i due CLINO della stazione di Milano Centro e relative soglie (Tabella 4):

[19] WMO, WHO "Heatwaves and health: guidance on warning-system development", 2015

- il 1961-1990 quale riferimento, secondo il WMO, per la valutazione dei cambiamenti climatici
- il 1981-2010, che lo stesso WMO indica per gli scopi operativi

Tabella 4 - Soglie di temperatura per il calcolo delle ondate di calore nel bacino aerologico milanese

CLINO	95° percentile T (°C) (*valori orari estivi*)	
	MIN	MAX
1961-1990	23,2	33,1
1981-2010	24,1	34,7

Nel Database di ClimaMi sono disponibili vari indicatori che caratterizzano l'**intensità, la durata e la frequenza delle Ondate di Calore** (**HW**) calcolati con dati di **stazioni collocate in area urbana** sia in riferimento al CLINO 1961-1990 (Figura 32) che al CLINO 1981-2010.

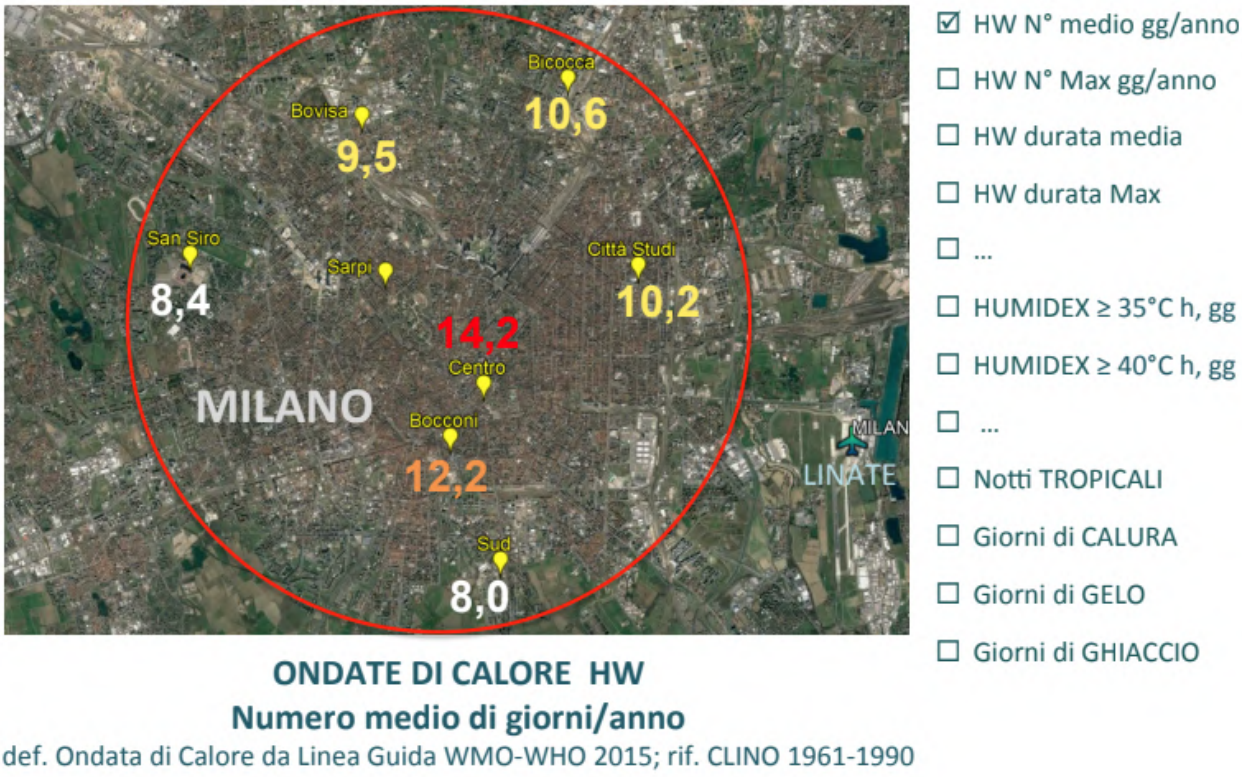


Figura 32 – Ondate di Calore a Milano ed elenco degli indicatori disponibili (progetto ClimaMI)

A questi si aggiungono indicatori che permettono un confronto tra località appartenenti ad ambiti territoriali nonché nazionali diversi, utilizzati internazionalmente [*Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite UNECE, IPCC, Eurostat, Agenzia Europea per l'Ambiente EEA, UNESCO*] per la caratterizzazione degli eventi estremi di calore, quali i **Giorni di Calura** (Temperatura massima> 30°C) e le **Notti Tropicali** (Temperatura minima > 20°C):

- Giorni di Calura - N° medio
- Giorni di Calura consecutivi - N° massimo assoluto
- Giorni di Calura consecutivi - N° medio
- Giorni di Calura consecutivi - distribuzione di frequenza media
- Notti Tropicali - N° medio (Figura 33)
- Notti Tropicali consecutive - N° massimo assoluto (Figura 33)
- Notti Tropicali consecutive - N° medio
- Notti Tropicali consecutive - distribuzione di frequenza media
- Giorni di Calura con Notti Tropicali (Tmax > 30°C e Tmin> 20°C) - N° medio
- Giorni di Calura con Notti Tropicali consecutivi (Tmax > 30°C e Tmin> 20°C) - N° massimo assoluto
- Giorni di Calura con Notti Tropicali consecutivi (Tmax > 30°C e Tmin> 20°C) - N° medio
- Giorni di Calura con Notti Tropicali consecutivi (Tmax > 30°C e Tmin> 20°C) - distribuzione frequenza media

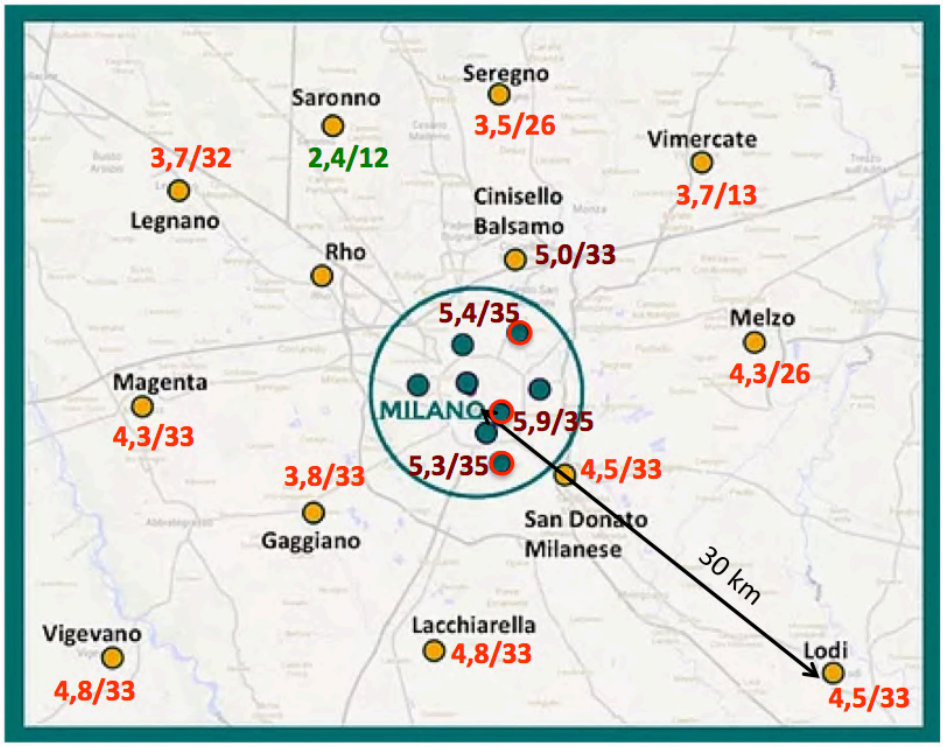


Figura 33 – Notti Tropicali consecutive: numero medio/max assoluto (giu-ago) (progetto ClimaMi)

Nei climi estivi come quello del territorio considerato da ClimaMi, caldo-umidi o afosi, la percezione di caldo non è legata solo ai valori di temperatura ma anche ai concomitanti tassi di umidità dell'aria.

Poiché la temperatura dell'aria da sola non è un buon indicatore dell'ambiente termico sperimentato dall'uomo, sono stati messi a punto vari indicatori bioclimatici sperimentali che descrivono le complesse condizioni di scambio di calore tra il corpo umano e l'ambiente termico circostante in funzione di due o più variabili meteorologiche fondamentali [WMO, WHO, 2015]. Nel Database ClimaMi si è utilizzato l'**indice HUMIDEX** che descrive l'effetto termico percepito dall'uomo in funzione della combinazione di temperatura e umidità dell'aria (Figura 34).

HUMIDEX:
disagio ed effetti sanitari

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

unità di misura in °C
va calcolato a livello orario

Alti tassi di umidità relativa ostacolano il raffreddamento cutaneo per evaporazione e, accoppiati a temperature elevate, possono essere fonte di disagio per l'organismo.

Al di sotto di 29	Poche persone percepiscono disagio.
Da 30 a 34	Sensazione di malessere più o meno significativa.
Da 35 a 39	Sensazione di malessere abbastanza intensa. Prudenza. Limitare alcune attività fisiche gravose.
a 40 a 45	Sensazione di malessere generalizzato. Pericolo. Evitare gli sforzi.
Da 46 a 53	Grave pericolo. Sospendere le attività fisiche.
Al di sopra di 54	Colpo di calore imminente (pericolo di morte)

Temperatura (°C)	Umidità relativa (%)																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
21	21	21	21	21	21	22	22	23	24	24	25	26	26	27	28	28	29
22	22	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	29	30	31
23	23	23	23	23	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	31	32	33
24	24	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
25	25	25	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37
26	26	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	36	37	38	39
27	27	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
28	28	28	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	43	44
29	29	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	43	44	45	46
30	30	30	31	32	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
31	31	31	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50
32	32	33	34	35	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	51	53
33	33	34	36	37	38	40	41	43	44	46	47	48	50	51	52	54	55
34	34	35	37	39	40	42	43	45	46	47	49	50	52	53	55	56	58
35	35	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	53	54	56	57	58	60
36	37	38	40	42	43	45	47	48	50	51	53	55	56	58	59	62	63
37	38	40	42	43	45	47	49	50	52	54	55	57	58	61	63	64	66
38	40	42	43	45	47	49	50	52	54	56	57	59	62	63	65	67	69
39	41	43	45	47	49	51	52	54	56	58	59	62	64	66	68	70	72
40	43	45	47	49	51	52	54	56	58	61	63	65	67	69	71	73	75
41	45	47	48	50	52	54	56	58	61	63	65	68	70	72	74	76	78
42	46	48	50	52	54	56	58	61	64	66	68	70	73	75	77	79	82

Figura 34 - Indice Humidex: formula, tabella di valori ed effetti di disagio/stress termico

Sono state considerate due soglie:

- **Humidex ≥ 35°C** - *N° medio ore/giorni*, a indicare condizioni di disagio termoigrometrico e utile per quantificare la qualità microclimatica dello spazio esterno pubblico (Figura 29);
- **Humidex ≥ 40°C** - *N° medio ore/giorni*, a indicare condizioni di possibile pericolo per la salute umana; al superamento di tale soglia, il servizio sanitario canadese attiva il protocollo di allerta e protezione della popolazione dalle ondate di calore.

4.2. Rappresentatività spazio-temporale degli indicatori climatici

L'ambiente urbano va pensato come una "collezione di milioni di microclimi": le variazioni orizzontali e verticali di tutte le variabili climatiche sono significative e fortemente influenzate dalle caratteristiche geometriche, strutturali e funzionali del tessuto urbano (Figura 35).

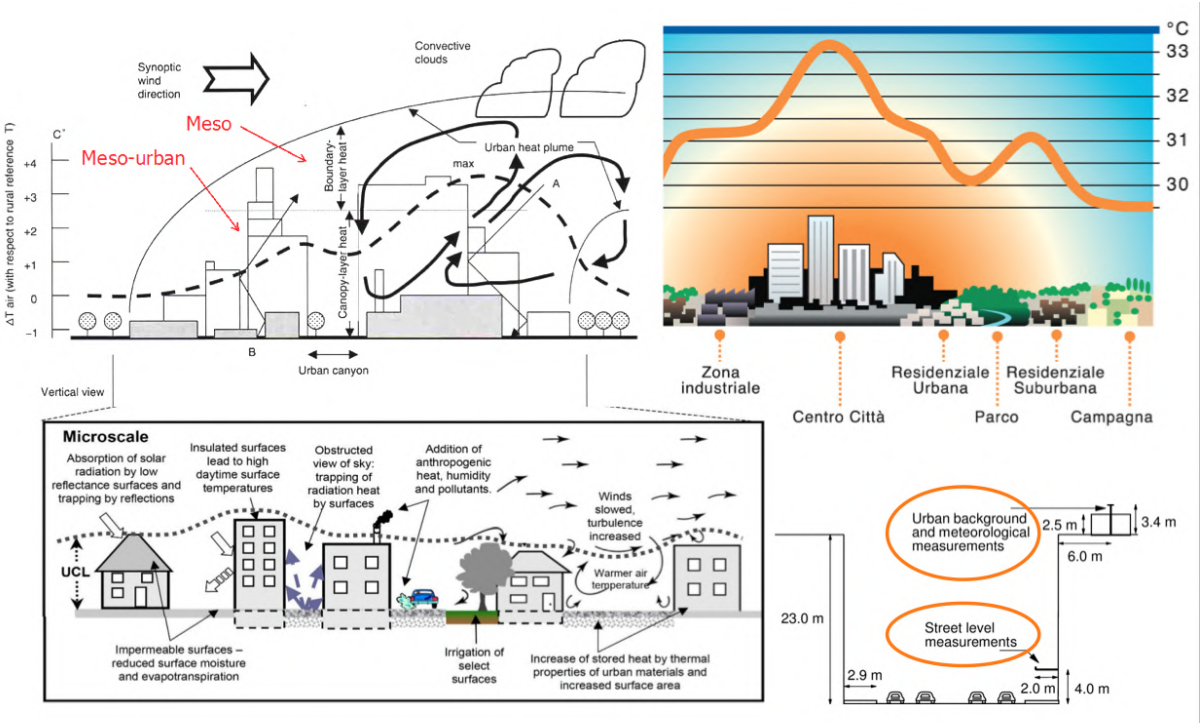


Figura 35 – Modello concettuale dell'atmosfera urbana
(EPA, https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium)

Ogni stazione meteorologica, a rigore, restituisce un valore puntuale delle variabili atmosferiche. Il suo posizionamento al suolo piuttosto che al di sopra dei tetti incide sulla possibilità di estrapolarne i valori alle aree immediatamente circostanti: se al suolo, basta spostarsi di qualche metro e la temperatura, ad esempio, può variare bruscamente di qualche grado.

Anche la localizzazione interno/esterno della città (stazione urbana/stazione rurale o aeroportuale) e internamente allo stesso tessuto urbano (area periurbana industriale o residenziale, parco, centro cittadino) è tanto più influenzante quanto più è estesa la città.

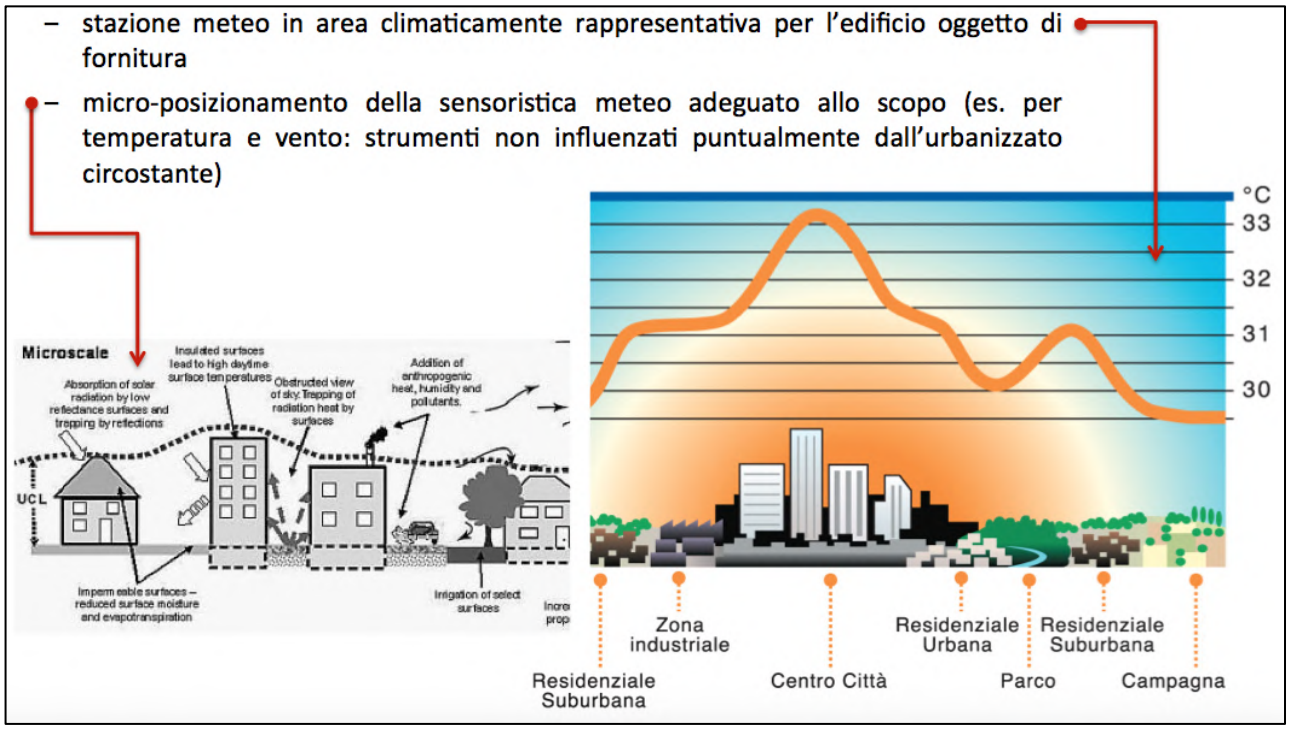


Figura 36 – Criteri per la scelta della stazione meteorologica di cui utilizzare i dati

Le stazioni meteo urbane utilizzate in ClimaMi sono opportunamente posizionate al limite superiore dello *Urban Canopy Layer* UCL, ovvero appena al di sopra del livello tetti e in corrispondenza dell'inviluppo "ideale" della città. Fotografano quindi una sorta di media risultante di tutto ciò che avviene al di sotto di esse, all'interno dell'UCL e gli **indicatori climatici di ClimaMi** possono essere considerati **rappresentativi entro un raggio di qualche centinaio di metri**. Per ogni stazione del Database ClimaMi sono forniti i Metadata (par. 5.3), che permettono di contestualizzare la stazione meteo rispetto alle caratteristiche del sito di misura e di estendere il suo utilizzo in contesti urbani similari (di particolare interesse in questo senso il parametro LCZ *Local Climate Zone – Cap. 3*). In generale, i criteri da seguire nella scelta di una stazione meteo e dei relativi dati per un sito d'interesse, diverso da quello di misura, sono esemplificati in Figura 36.

Per esemplificare, l'utilizzo dei dati climatici di Milano Linate (stazione extraurbana fino a qualche decennio fa, ormai di tipo suburbana) possono differire di qualche unità di grado sulle medie annue e stagionali e sfiorare la decina di gradi se interessano le massime assolute. Differenze significative sussistono in tal senso per il conteggio dei gradi giorno e per le temperature di progetto estive e invernali.

I dati climatici di una stessa località possono differire tra loro, oltre che per l'ubicazione della stazione di misura, anche per il periodo temporale rispetto al quale è definito il clima ovvero rispetto al quale si effettuano le valutazioni statistiche (*medie*, *massime*, *minime*) per il calcolo degli indicatori climatici. La tabella che segue (Tabella 5) mostra un caso esemplificativo:

Tabella 5 - Temperature medie annue ed estreme estive in Milano Centro per diversi periodi *CLImatologici NOrmali*

CLINO	T media (°C)	ESTATE (Giu - Ago)	
		MIN giornaliera *	MAX giornaliera*
1961-1990	13,7	23,2	33,1
1971-2000	13,9	23,3	33,6
1981-2010	14,3	24,1	34,7

* 95° percentile: solo 5% dei valori nelle estati del trentennio superiore a tale valore

In funzione dello scopo, della variabile climatologica fondamentale (es. temperatura o precipitazioni) e delle variazioni cui è soggetto l'indicatore climatico d'interesse occorre scegliere il periodo climatico più opportuno (Figura 18).

Si ricorda che il Database di ClimaMi si riferisce al decennio in corso (2012-2018).In generale, qualsiasi sia lo scopo, occorrono dati climatici le cui *incertezze*, *scala spaziale*, *scala temporale* siano **adeguate** e **coerenti** con quelle degli altri dati di **input** e con l'**output** che ci si prefigge di ottenere.