

**LIFE20 CCA/IT/001752**

# **Progetto LIFE+ A\_GREENET**

## **Adriatic Climate Urban Network**

*ACTION A.2: Analisi di contesto*

*Sottoazione A.2.3: Caratterizzazione scenario meteoclimatico*

**DA.2.3.1 Report scenario meteoclimatico rappresentativo della città del Medio Adriatico ad oggi, al 2030, al 2050**

Beneficiary responsible for A.2 implementation: Comune di Pescara

Partner responsabile per il DA.2.3.1: UNICAM

Deadline 09/2022

Capofila di Progetto



Partner beneficiari



Comune di Silvi



Comune di Ancona



Comune di Pescara



Città di San Benedetto del Tronto



LEGAMBIENTE



RES GRARIA



Università di Camerino

## Lo scenario meteoclimatico rappresentativo

Il Profilo Climatico Locale rappresenta uno strumento per l'analisi della variabilità climatica sulle varie scale temporali e spaziali. Il presente documento descrive nella sua prima parte lo scenario meteoclimatico rappresentativo alla scala territoriale, attraverso l'utilizzo dei dati Open-Source e applicazioni di Remote Sensing per l'analisi termica, nella seconda parte i risultati della variabilità climatica osservata sulla città lineare adriatica, prendendo in considerazione le principali grandezze meteoclimatiche misurate dalle centraline di monitoraggio con una rielaborazione su differenti orizzonti temporali. L'analisi climatica è focalizzata sulle tendenze e punti di cambiamento sia nei valori medi che nei valori estremi. Per questa ragione è necessario prendere in considerazione serie temporali lunghe (anche se risulta sempre più evidente la tendenza meteoclimatica ad un surriscaldamento e conseguente aumento delle temperature) in modo tale che i risultati possono essere caratterizzati anche da punto di vista della significatività statistica. A questa analisi statica si affianca anche una analisi "rappresentativa" vale a dire l'utilizzo di scenari giornalieri in grado di definire un giorno-tipo sul quale basare la simulazione numerica per la distribuzione spaziale del dato meteoclimatico. La selezione del cosiddetto giorno rappresentativo costruito a partire dai dati meteorologici orari a disposizione individua un giorno, entro il periodo di indagine, durante il quale l'andamento dei parametri meteorologici ha il minimo scostamento dalla media. In tal modo si costruiscono scenari meteorologici reali capaci di rappresentare le peculiarità meteoclimatiche pur mantenendo l'informazione sintetica, usualmente fornita dalla elaborazione statistica. Per lo scenario "rappresentativo" i dati meteorologici sono reali e consentono di effettuare valutazioni dei campi anemologici e termici che non risentiranno dell'incertezza dei processi di media. L'analisi statistica viene, in tal modo, utilizzata solo preliminarmente alla sequenza di simulazione numerica eliminando un ulteriore elemento d'incertezza.

## Scenario meteoclimatico rappresentativo alla scala territoriale: dati Open-Source e applicazioni di Remote Sensing per l'analisi termica

L'attività di ricerca per la costruzione dello scenario meteo-climatico restituisce una valutazione dello stress termico attuale e previsionale per la città lineare del medio-adriatico con specifico riferimento ai limiti di studio. In questo senso le analisi sono state sviluppate sulla base dei limiti amministrativi comunali e sulle perimetrazioni degli ambiti urbani così come definiti da Unicam in concerto con tutti i Comuni Partner di progetto (già individuati e descritti nel deliverable precedente "*DA.2.2.2 Report sulla qualità e lo stato di conservazione delle aree verdi (naturali e seminaturali)*", in particolare TAV.0 - quadro d'unione perimetrazioni).

L'analisi dell'esposizione al calore e della relativa vulnerabilità è stata condotta alla macro-scala fotografando lo 'stato di fatto', con riferimento all'ultimo quinquennio, e processando diverse immagini satellitari della missione "Landsat-8" (NASA - USGS<sup>1</sup>). Attraverso tecniche e metodi legati alla GIScience e al Remote Sensing è stato possibile stimare la temperatura superficiale degli habitat urbani, naturali e agricoli calcolando da un lato l'indice **LST-Land Surface Temperature** dall'altro elaborando diverse immagini già semi-elaborate dal USGS e fornite quale prodotto '**Provisional Surface Temperature (ST<sup>2</sup>)**' (Cook, Monica J., 2014; Cook et al, 2014). Quest'ultimo misura la temperatura della superficie terrestre in gradi Kelvin (K) e risulta fondamentale per il monitoraggio multi-criteriale e diacronico della salubrità delle aree urbane affette da eventi di calore estremo aumentate per intensità/durata e potenziate dalla forma urbana e dal fenomeno dell'"isola di calore".

---

<sup>1</sup> Immagini open source concesse dal Dipartimento degli Interni degli Stati Uniti - Servizio Geologico - in forma gratuita e accessibili al sito <https://earthexplorer.usgs.gov/>

<sup>2</sup> "Provisional Surface Temperature is generated from the Landsat Collection 1 Level-1 thermal infrared bands, Top of Atmosphere (TOA) Reflectance, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Emissivity Database (GED) data, ASTER Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data, and atmospheric profiles of geopotential height, specific humidity, and air temperature extracted from reanalysis data", <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-provisional-surface-temperature>

Tale processo ha contribuito fortemente a identificare alcuni 'ambiti critici'<sup>3</sup> a maggiore discomfort termico che saranno approfonditi successivamente in simulazioni di termofluidodinamica; questo secondo step alla micro-scala restituirà non solo la temperatura sotto il livello medio dell'edificato ma anche una molteplicità di variabili e condizioni di comfort presenti e future.

Con queste premesse, gli elaborati cartografici prodotti, di seguito presentati e analizzati, sono stati redatti in diverse fasi e restituiscono una panoramica della criticità termica dell'area di studio accompagnata da un approfondimento riguardante l'individuazione delle giornate più rappresentative e ricorrenti sotto l'aspetto meteo-climatico ("giornata rappresentativa"), calcolate con metodo scientifico.

La prima fase ha visto un processo di indagine a scala territoriale "macro", restituendo una serie temporale di immagini scelte dal 2017 al 2022 (analizzando i mesi da maggio ad agosto di ogni rispettivo anno), concretizzata in n. 25 immagini selezionate con il criterio di copertura nuvolosa (*cloud cover*) compreso tra 0-40% e/o avendo cura che le nuvole non interessassero le aree di studio compromettendo i risultati di calcolo.

Le immagini satellitari utilizzate sono parte della **Collection 2 Level 2 'Science Product'**, contenenti informazioni pre-elaborate con un algoritmo sviluppato dal Rochester Institute of Technology (RIT) e dal National Aeronautics and Space Administration (NASA).

tab.1 Elenco n.25 immagini C2L2 (maggio – agosto dal 2017 al 2022)

28/05/2017	
13/06/2017	
15/07/2017	
16/08/2017	
31/05/2018	
02/07/2018	
18/07/2018	

<sup>3</sup> Gli ambiti critici da attenzionare alla scala urbana saranno il risultato dell'interpolazione di più dati e studi con riferimento non solo al topic calore ma anche alla qualità/presenza di verde e all'incidenza delle fasce vulnerabili della popolazione

03/08/2018	
02/05/2019	temp max < 40°C
03/06/2019	
05/07/2019	
21/07/2019	
06/08/2019	
22/08/2019	
04/05/2020	temp max < 40°C
10/07/2021	
10/05/2022	
11/06/2022	
19/06/2022	
27/06/2022	
05/07/2022	
13/07/2022	
21/07/2022	
29/07/2022	
14/08/2022	

Le immagini così acquisite sono state processate all'interno di software GIS per ottenere il dato ottimizzato e in gradi Celsius:

$$ST = ((img\_B10 * 0.00341802) + 149.0) - 273.15$$

dove:

**img\_B10** = immagine satellitare BANDA 10 dell'infrarosso termico (TIRS)

**0.00341802 + 149.0** = fattore di scala e calibrazione dei pixel<sup>4</sup>

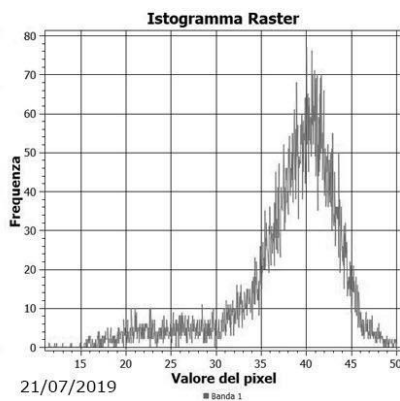
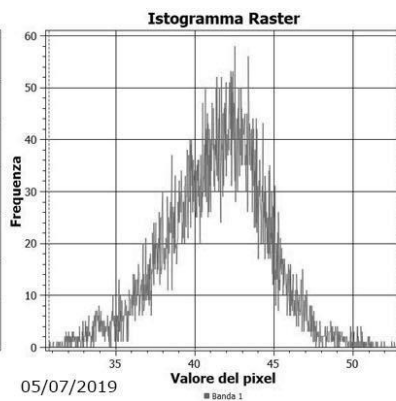
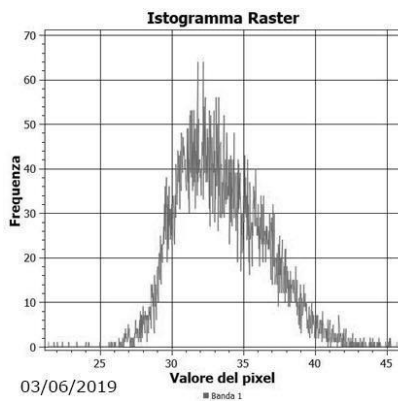
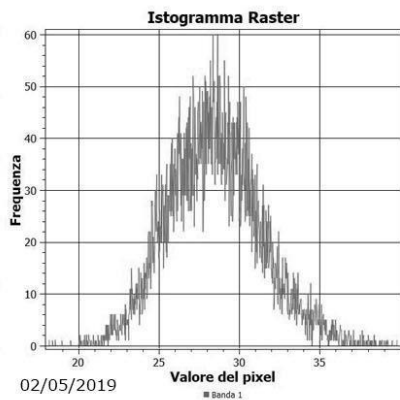
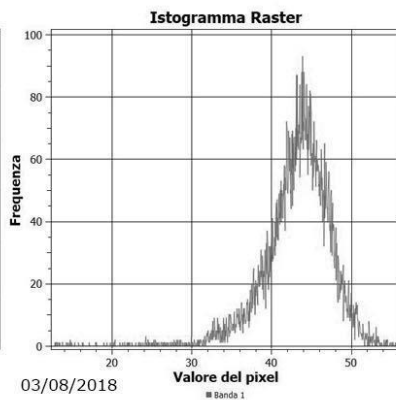
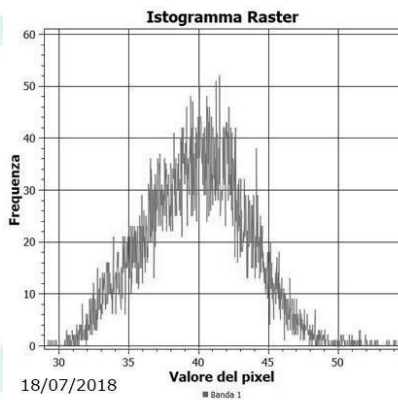
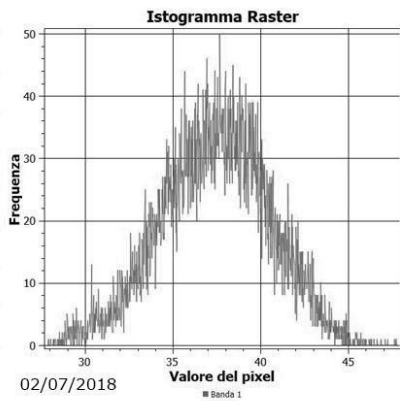
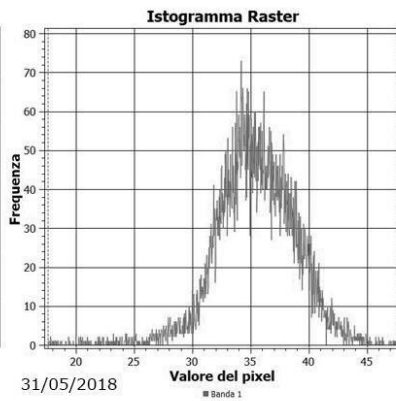
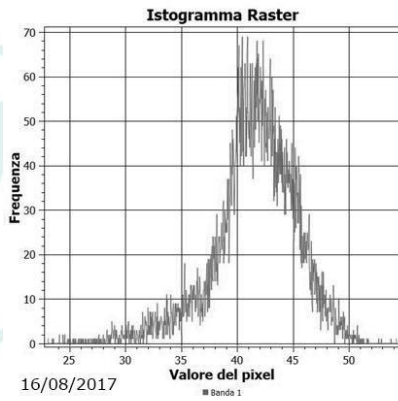
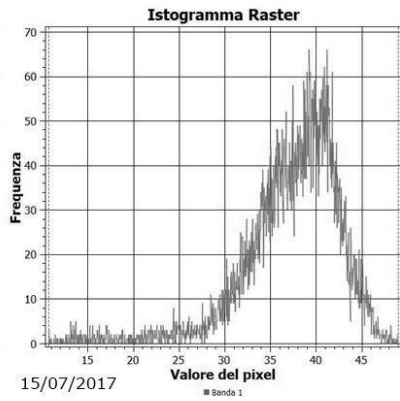
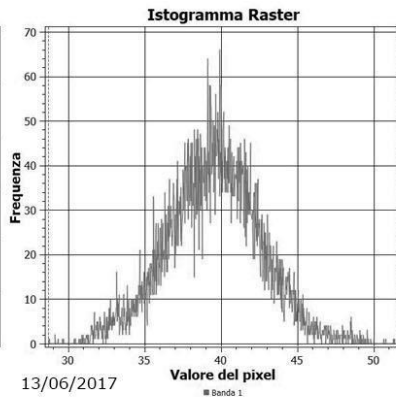
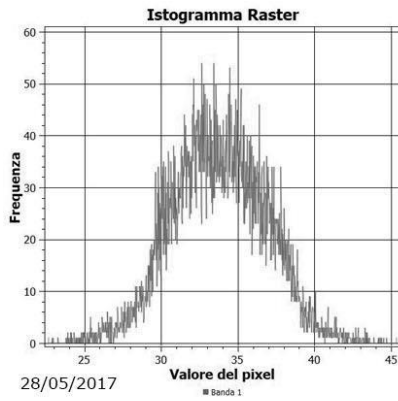
**-273.15** = unità di conversione da gradi Kelvin (°K) in gradi Celsius (°C)

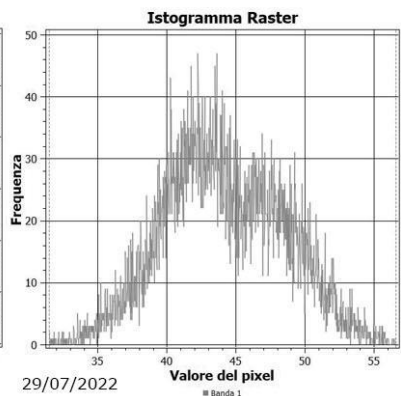
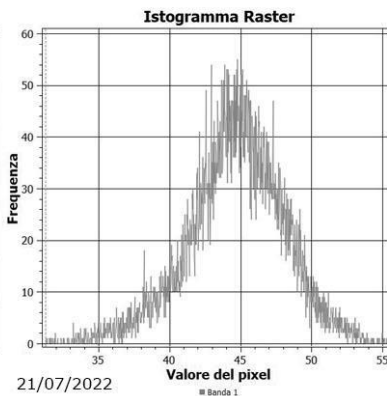
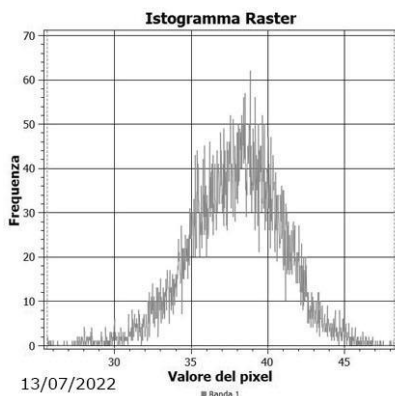
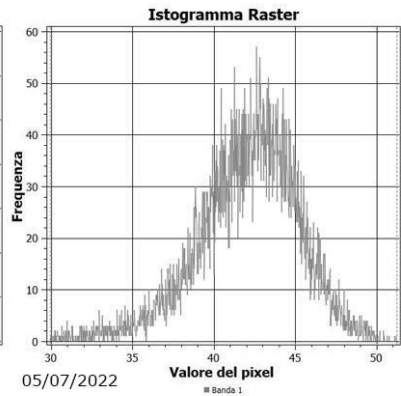
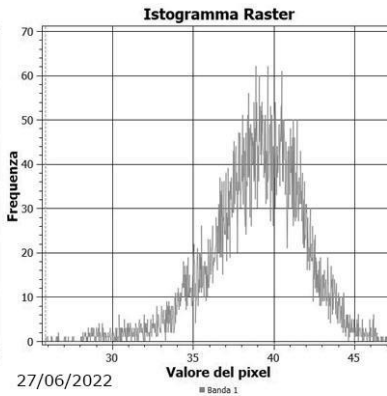
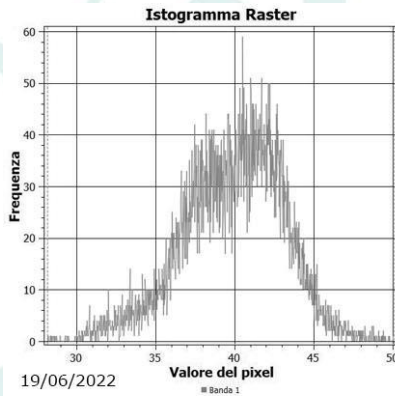
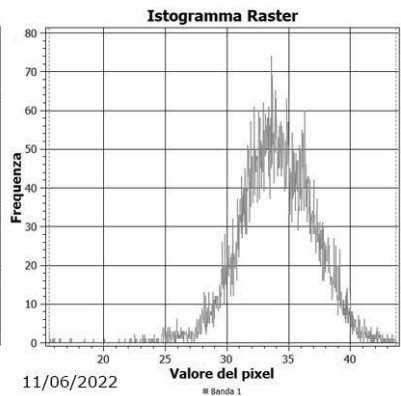
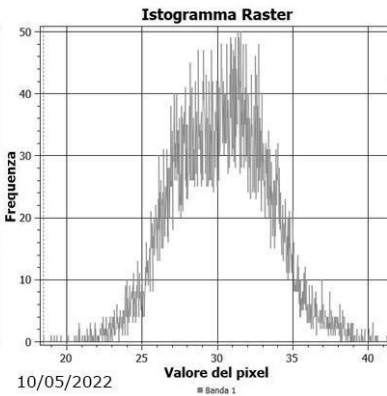
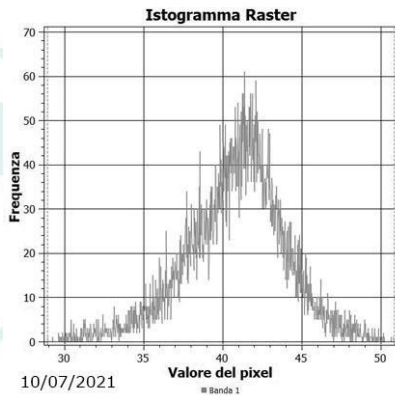
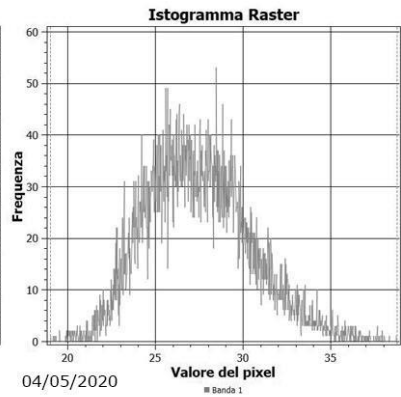
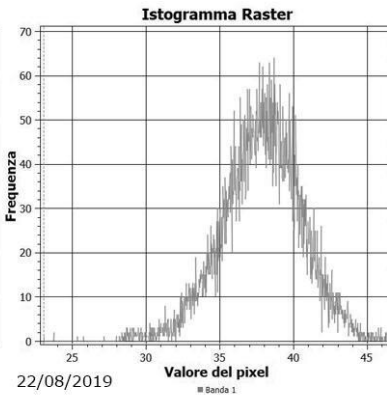
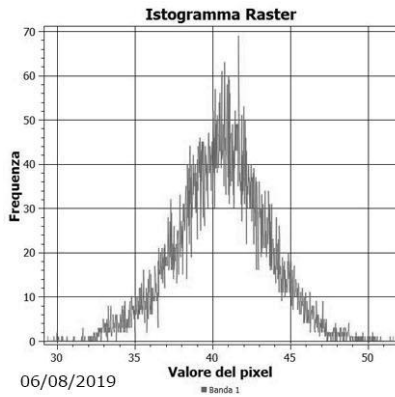
<sup>4</sup> Come segnalato in *Landsat 8-9 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide*, consultabile al: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide>)

Processate tutte le immagini satellitari sono state individuate n. 7 immagini basando il parametro di scelta della **frequenza**, visualizzabile negli istogrammi riportati in fig.1.

Il metodo di scelta delle immagini utili alla costruzione del 'mosaico termico' utilizza tale parametro poiché la temperatura massima quale valore di selezione potrebbe non essere rappresentativa della frequenza/presenza di un determinato valore di temperatura ma essere circoscritta ad un solo pixel nell'intera immagine.









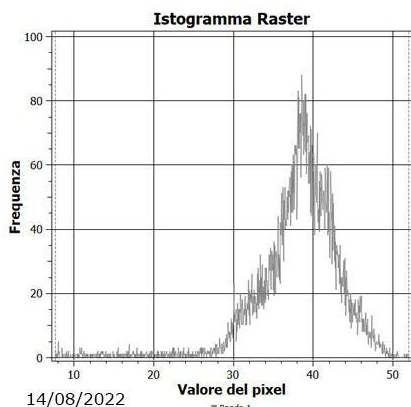


fig.1 Istogrammi relativi al valore dei pixel delle singole immagini raster analizzate sulla base del parametro 'frequenza'

In merito al calcolo della frequenza di pixel con una determinata temperatura, è stata impostata una soglia minima di 40°C, portando all'esclusione di due immagini (2/05/2019 e 4/05/2020). Le altre, successivamente, sono state analizzate mediante l'algoritmo "r.report" di GRASS-QGIS capace di restituire in forma di report riassuntivo il numero di pixel associati alla soglia prescelta (>= 40). La messa a confronto dei report delle 23 immagini individuate ha permesso quindi di selezionare n. 7 immagini satellitari con temperature superficiali più alte e critiche.

tab.2 Dati relativi alle immagini satellitari classificate e scelte in base alla frequenza

<b>data immagine satellitare</b>	<b>n. pixel valori &gt;=40</b>	<b>Tmin (°C)</b>	<b>Tmax (°C)</b>
<b>21/07/2022</b>	<b>828527</b>	31,26	55,68
<b>29/07/2022</b>	<b>756133</b>	31,47	56,56
<b>03/08/2018</b>	<b>755287</b>	12,78	55,8
<b>05/07/2022</b>	<b>706893</b>	29,93	51,21
<b>16/08/2017</b>	<b>667899</b>	23,04	54,27
<b>05/07/2019</b>	<b>642254</b>	30,79	52,87
<b>10/07/2021</b>	<b>588451</b>	28,93	50,82
06/08/2019	548319		
19/06/2022	470515		
18/07/2018	442102		
13/06/2017	412229		

21/07/2019	401648		
27/06/2022	343629		
14/08/2022	338382		
15/07/2017	327465		
13/07/2022	231965		
22/08/2019	191109		
02/07/2018	185987		
31/05/2018	72702		
03/06/2019	19092		
11/06/2022	18409		
28/05/2017	15465		
10/05/2022	1147		

A titolo esemplificativo è riportato di seguito il **report** della frequenza di pixel con valore soglia  $\geq 40$  riferiti al giorno 21/07/2022.

```

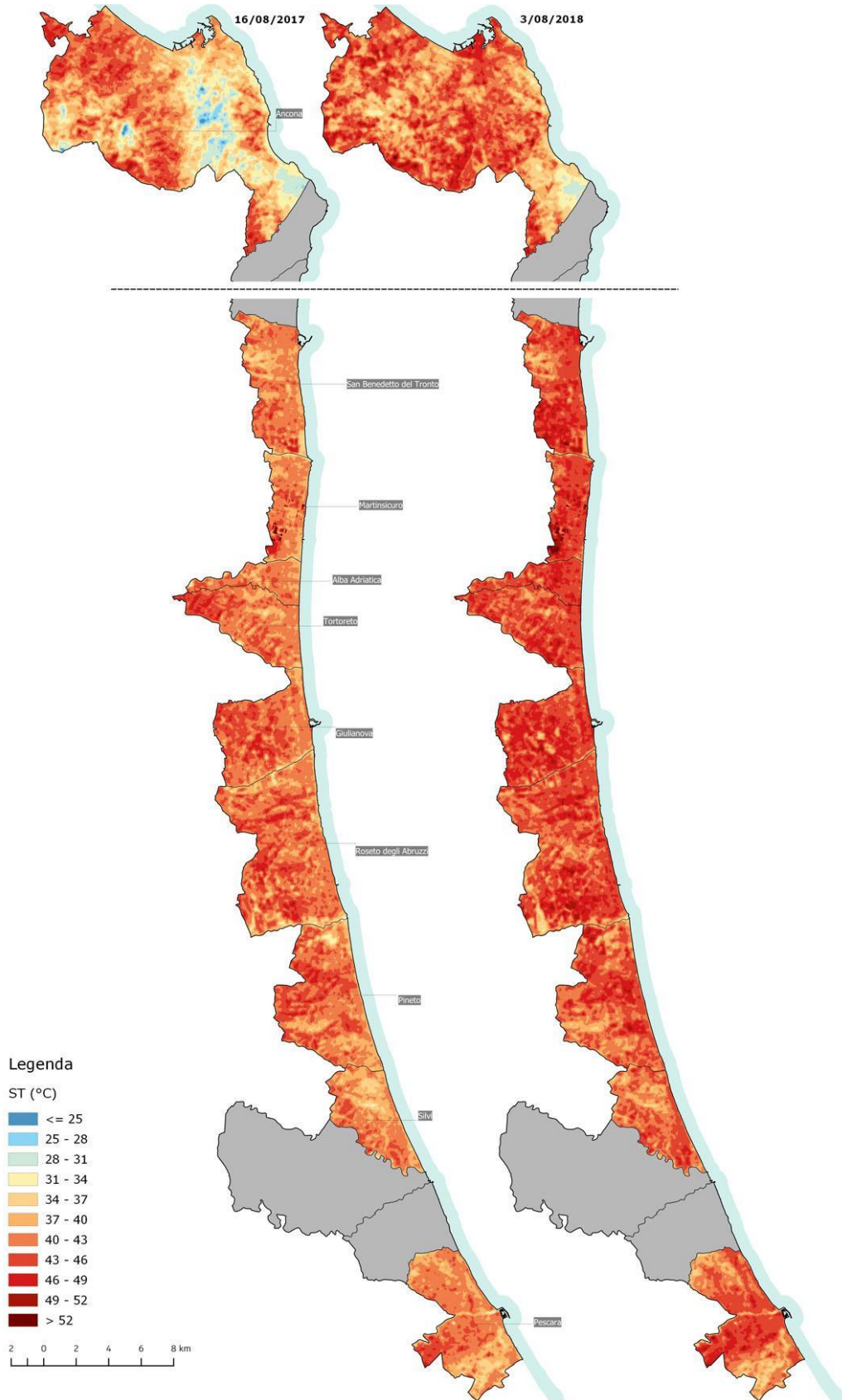
-----
                        RASTER MAP CATEGORY REPORT
LOCATION: temp_location                               Thu Sep 15 17:48:52 2022
-----
REGION      north: 4832070    east: 2458710
            south: 4696200    west: 2388930
            res:      30      res:      30
-----
MASK: none
-----
MAP: (untitled) (rast_632349634860e33 in PERMANENT)
-----
                Category Information
#|description                                     | cell
-----|-----|
0-0.003922|from to . . . . . | 84129
0.996078-1|from to . . . . . | 828527
-----|-----|
TOTAL                                           | 912656
-----

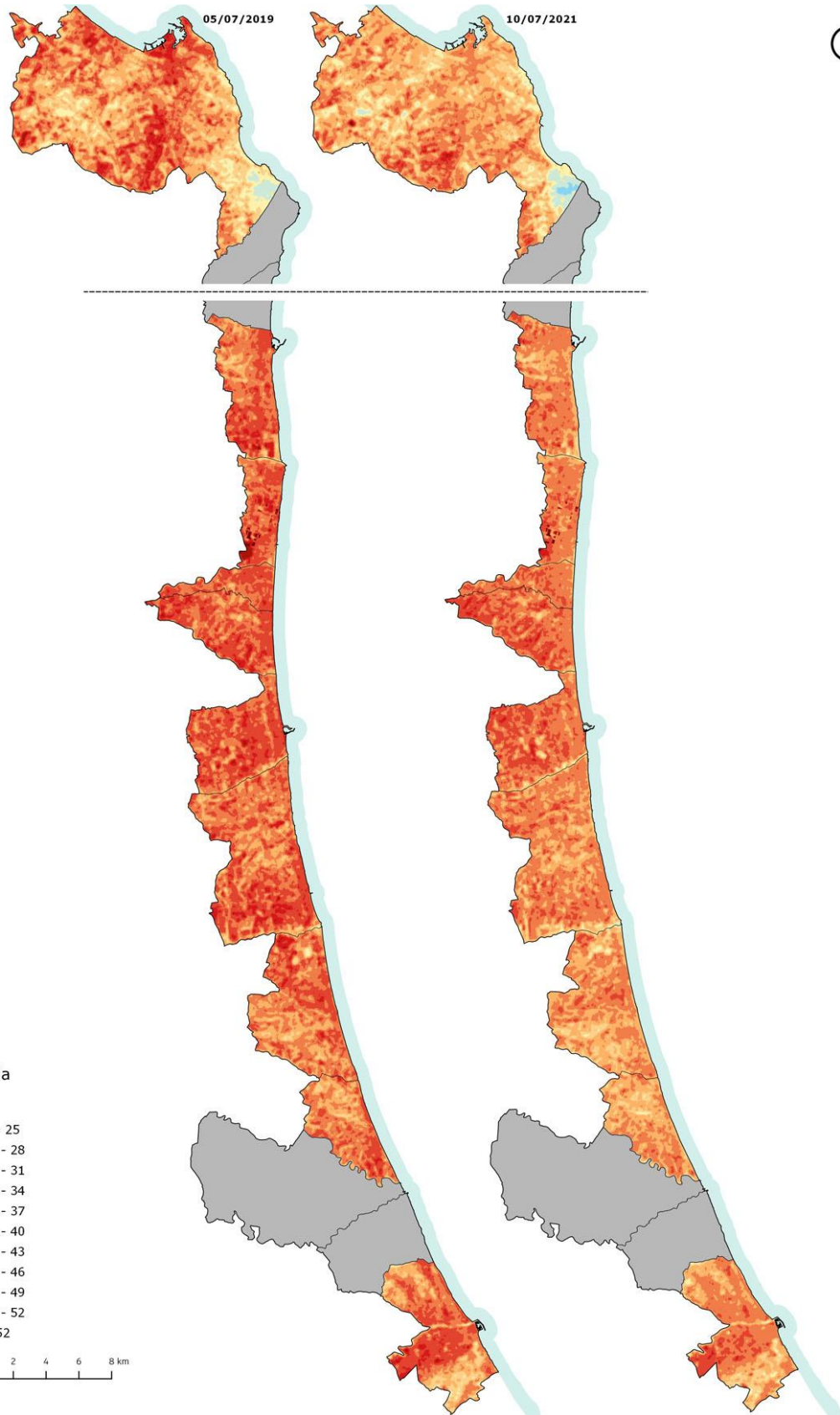
```

fig.2 Output dell'algoritmo 'r.report' che calcola il numero di volte che un determinato valore è presente nel file raster/immagine; in questo caso il calcolo si riferisce ai valore  $\geq 40$  °C

Individuato il set di immagini idonee a rappresentare lo scenario termico-critico dell'ultimo quinquennio si è proceduto a 'clusterizzare' i valori in classi omogenee per una corretta restituzione grafica.

In evidenza in fig.3 la **ST - Surface Temperature** nei comuni Partner di progetto, nella fascia adriatica da Ancona a Pescara:





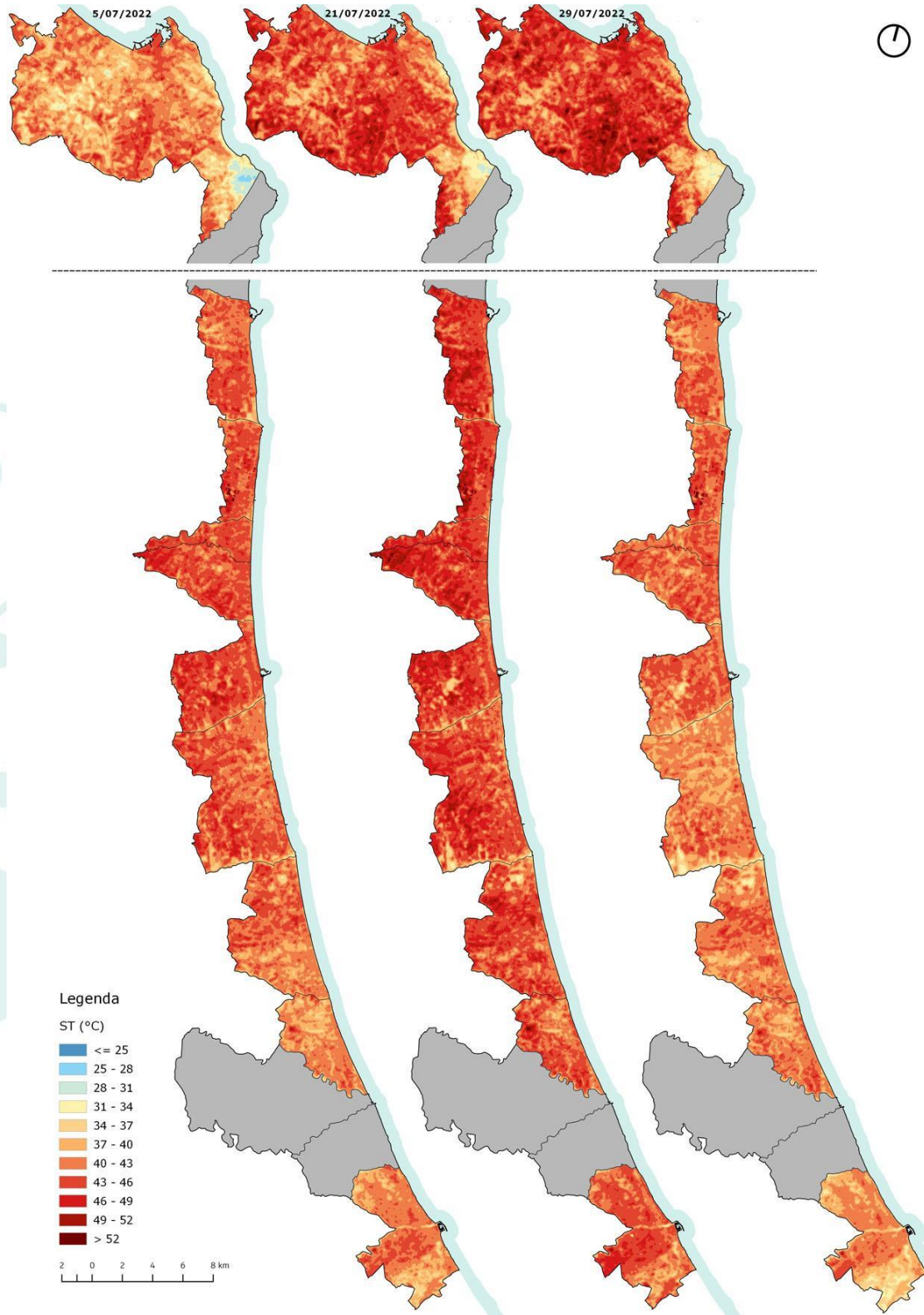


fig.3 Scenario termico critico-rappresentativo dell'ultimo quinquennio, elaborazioni a partire da Landsat Level 2 Surface Temperature Science Product, courtesy of the U.S. Geological Survey.

Il risultato ottenuto con l'analisi 'spazio-temporale' fotografa il quadro critico delle temperature evidenziando un trend gravoso e persistente nell'area del medio-adriatico marchigiano-abruzzese così come riportato anche da report meteorologici locali. Infatti, a supporto dello studio condotto si citano e riportano i risultati emersi dalle analisi del clima svolti dall'ASSAM - Agenzia per i Servizi nel Settore Agroalimentare della Regione Marche nella quale vengono evidenziate temperature elevate ed anomalie nelle precipitazioni nel mese di luglio 2022 (fig.4-5). Inoltre, anche il Centro Funzionale Multirischi della Regione Marche (fig.6), attraverso l'emissione dei bollettini per le ondate di calore, individua il **21 luglio 2022** come giorno critico, specie per le fasce svantaggiate della popolazione, a conferma dei risultati ottenuti dalla Surface Temperature di quel giorno. Allo stesso modo le previsioni meteorologiche emesse dal Centro Funzionale d'Abruzzo attraverso il servizio AllarMeteo (un'infrastruttura tecnologica per la segnalazione sociale e privata di alert) indicano per lo stesso giorno "temperature in lieve aumento, con valori da elevati a molto elevati"<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Prot. prov. N 5428 del 20 luglio 2022 - Prot. prov. N 5431 del 21 luglio 2022

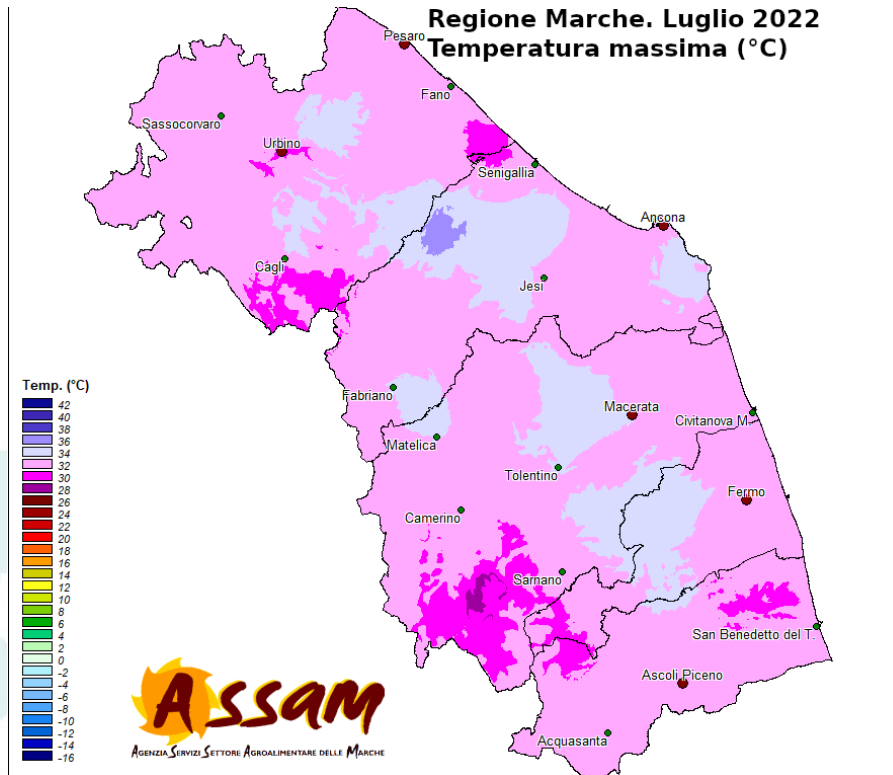


fig.4 Temperatura massima (°C) nella Regione Marche nel mese luglio 2022, ASSAM

Mese	Temperatura media (°C)			Precipitazione (mm)		
	2022	1981-2010	Anomalia	2022	1981-2010	Anomalia
Gennaio	4,9	5,0	-0,1	32	50	-18
Febbraio	7,6	5,5	2,1	70	51	19
Marzo	6,8	8,7	-1,9	26	64	-38
Aprile	11,7	11,8	-0,1	45	69	-24
Maggio	18,9	16,6	2,3	29	58	-29
Giugno	24,4	20,4	4,0	29	66	-37
Luglio	25,8	23,3	2,5	30	41	-11
Agosto						
Settembre						
Ottobre						
Novembre						
Dicembre						
Periodo	14,3	13,0	1,3	261	399	-138

fig.5 In evidenza si riportano i valori mensili sulla temperatura media e la precipitazione del 2022 e relative anomalie rispetto al periodo 1981-2010, ASSAM



**BOLLETTINO PER LE ONDATE DI CALORE  
EMISSIONE DI giovedì 21 luglio 2022 ore 09:00**

CALL CENTER REGIONALE  
N° verde 800 450 020  
Email: cdombenincasa@nuovasair.it  
Email: progettohelios@sanita.marche.it

Località	giovedì 21 luglio 2022 ore 14		venerdì 22 luglio 2022 ore 14		sabato 23 luglio 2022 ore 14	
	T (°C)	T app (°C)	T (°C)	T app (°C)	T (°C)	T app (°C)
Ancona	32	33	33	34	33	35
Ascoli Piceno	35	35	36	36	38	38
Fabriano	36	36	37	37	37	38
Fermo	33	33	34	33	36	36
Jesi	33	32	35	33	37	37
Macerata	35	35	36	36	39	39
Pesaro	31	34	32	35	34	37
S. Benedetto	31	33	32	34	33	36
Urbino	32	32	34	34	34	34

**PREVISIONE DEL LIVELLO DI PERICOLO DA ONDATA DI CALORE**



Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Sono previste condizioni meteorologiche non associate a rischio per la salute della popolazione	Sono previste temperature elevate che non rappresentano un rischio rilevante per la salute della popolazione, ma che possono precedere il verificarsi di condizioni di rischio. <b>Pre-allerta dei servizi sanitari e sociali</b>	Sono previste temperature elevate e condizioni meteorologiche a rischio in particolare per i sottosistemi di persone suscettibili. <b>Allerta dei servizi sanitari e sociali</b>	<b>Ondata di calore.</b> Le condizioni meteorologiche a rischio persistono per tre o più giorni consecutivi. <b>Allerta dei servizi sanitari e sociali</b>

Previsioni a cura del "Centro Funzionale Multirischi" della Regione Marche tel. 071-8067747 fax 071-8067709 centrofunzionale@regione.marche.it http://www.protezionecivile.marche.it  
Contenuti soggetti a licenza d'uso LPRM © Regione Marche 2009 v.0.1 - <http://lprm.regione.marche.it>

fig.6 Bollettino per le ondate di calore, Centro Funzionale Multirischi, Regione Marche

Terminato il mosaico termico (ST) del quinquennio 2017-2022 è stata selezionata un'immagine satellitare della Collection 2 Level 1 (Landsat 8) con data **21 Luglio 2019** su cui calcolare l'indice LST. L'approfondimento, sempre riferito all'indagine sul topic 'calore', sarà utile alla costruzione di una Carta del Rischio multidimensionale che evidenzierà le fragilità del territorio rispetto ai temi del calore, dell'infrastruttura verde e della popolazione vulnerabile.



Il processo di selezione dell'immagine, tra le varie date disponibili, è legato al "giorno rappresentativo" (vedi paragrafo Calcolo del giorno rappresentativo), così come anticipato ad inizio report e mostrato negli elaborati grafici del paragrafo successivo (da pag. 26 in poi).

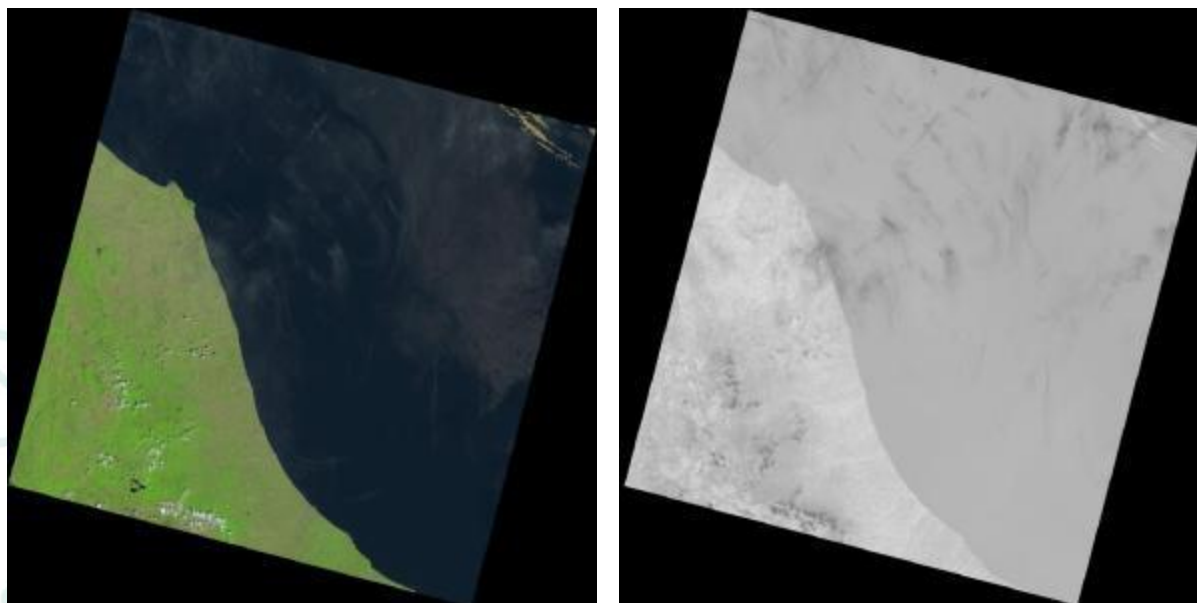
Nella tabella sottostante, si riportano le specifiche tecniche (metadati) dell'immagine selezionata:

tab.3 Dati relativi all'immagine satellitare dell'area costiera compresa tra Ancona a Pescara

Data - ora di rilevamento	21/07/2019 - 09:46:30
Identificativo prodotto L1	LC08_L1TP_190030_20190721_20200827_02_T1
Identificativa immagine	LC81900302019202LGN00
Categoria collezione	T1
Numero collezione	2
Cloud cover terreno (%)	3.19
Cloud cover scena L1 (%)	1.48
Indicatore giorno/notte	Giorno
Identificatore sensore	OLI_TIRS
Proiezione UTM Zone	UTM 33
Datum	WGS84
Ellissoide	WGS84
Coordinate immagine	43.18499, 14.15929 44.23401, 12.67215 44.25609, 15.61382 42.08808, 12.75227 42.10856, 15.59267
Risoluzione spaziale	30 metri/pixel (dato acquisito a 100 m/px)

L'indice è stato applicato alla sola immagine del 21/07/2019, evidenziata come rappresentativa della condizione termica ricorrente nell'area di studio rispetto alla

variabile della temperatura. Di seguito sono riportate alcune *tiles* dell'immagine scelta, acquisita alle ore 09:46 am, e la relativa 'impronta' territoriale (fig.7):



*fig.7 Immagine satellitare selezionata: area geografica dal Comune di Ancona al Comune di Pescara (a sx imm. riflessa, a dx imm. termica)*

Le cartografie, di seguito riportate (fig.9 e successive), restituiscono una panoramica rispetto al calore superficiale del 21/07/2019 lungo il tratto della città lineare costiera da Ancona a Pescara, così come perimetrata e definita in concerto tra i Partner di progetto (Comuni-gruppo UNICAM). Inoltre, sono state messe in risalto le 10 aree di sperimentazione pilota su cui potranno essere svolte maggiori indagini e proposti interventi di riforestazione urbana in linea con gli obiettivi di progetto e i programmi della PA.

All'immagine satellitare sono state applicate diverse formule matematiche (Anandababu, Purushothaman, Suresh, 2018; Avdan, Jovanovska, 2016) per sviluppare l'indice LST e convertire i dati grezzi in temperatura espressa in gradi Celsius. Questo indice scientifico misura la temperatura superficiale legata al Urban Boundary Layer (Oke, 2006), ossia alla copertura dell'area urbana al di sopra dell'altezza media degli edifici, attraverso i canali spettrali a infrarosso termico posizionati su satelliti geostazionari. La sua stima dipende dall'energia-emissività dei 'corpi' e degli elementi al suolo e da fattori sistemici di natura antropica, come l'albedo/riflettenza dei materiali, il grado di artificialità dei

materiali e il loro grado di resistenza alla luce nonché il grado di artificializzazione dei suoli, la copertura/presenza di alberi, l'umidità e il tipo di aree verdi.

Questa elaborazione macro-scalare, come la precedente ST, non restituisce la temperatura percepita dalle persone a livello stradale (0-2 m), demandata a successive simulazioni micro-scalari, ma evidenzia il sistema delle aree più esposte all'irraggiamento solare a livello urbano-territoriale da relazionare alle altre variabili di criticità. Queste aree, infatti, assorbono la maggior parte delle radiazioni dirette diurne per poi rilasciarle durante la notte contribuendo così al fenomeno dell'"isola di calore" alimentata localmente dalla forma urbana e globalmente dalla tropicalizzazione del clima, particolarmente evidente nell'area mediterranea.

L'immagine satellitare, e le relative bande elettromagnetiche di cui si compone (in particolare B10, B4, B5), sono state processate in ambiente GIS per ottenere le diverse variabili utili al calcolo definitivo del LST. Gli step intermedi e le diverse operazioni di *geoprocessing* effettuate, così come illustrate in fig.8, sono così riassumibili:

- Calcolo della radianza spettrale atmosferica;
- Conversione della radianza in temperatura al sensore;
- Calcolo dell'Indice vegetativo NDVI<sup>6</sup> per la correzione dell'emissività del suolo
  - Sviluppo del NDVI
  - Calcolo della proporzione di vegetazione
  - Calcolo dell'emissività della superficie terrestre;
- Calcolo della LST-Land Surface Temperature.

---

<sup>6</sup> Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=58>

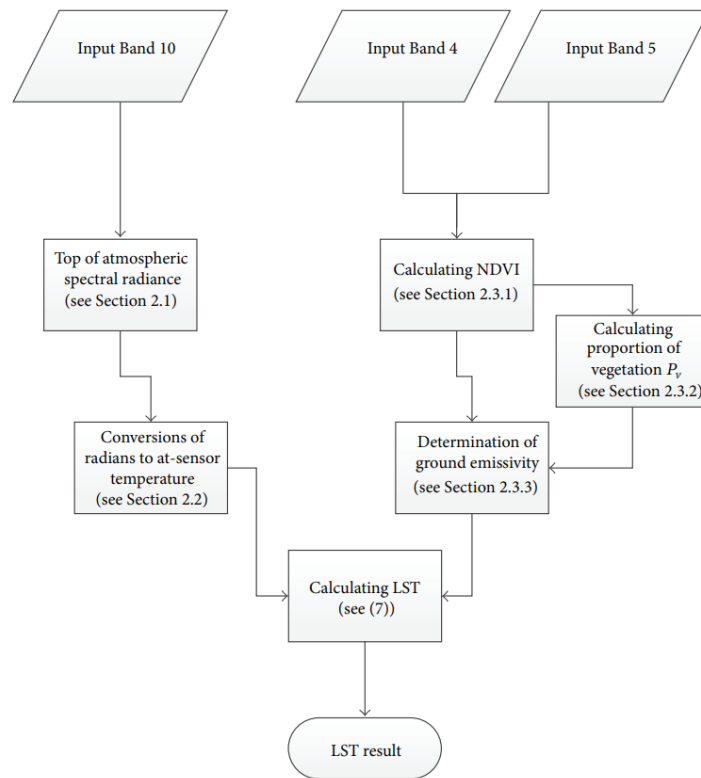


fig.8 Workflow relativo al calcolo della Land Surface Temperature (Avdan, Jovanovska, 2016)

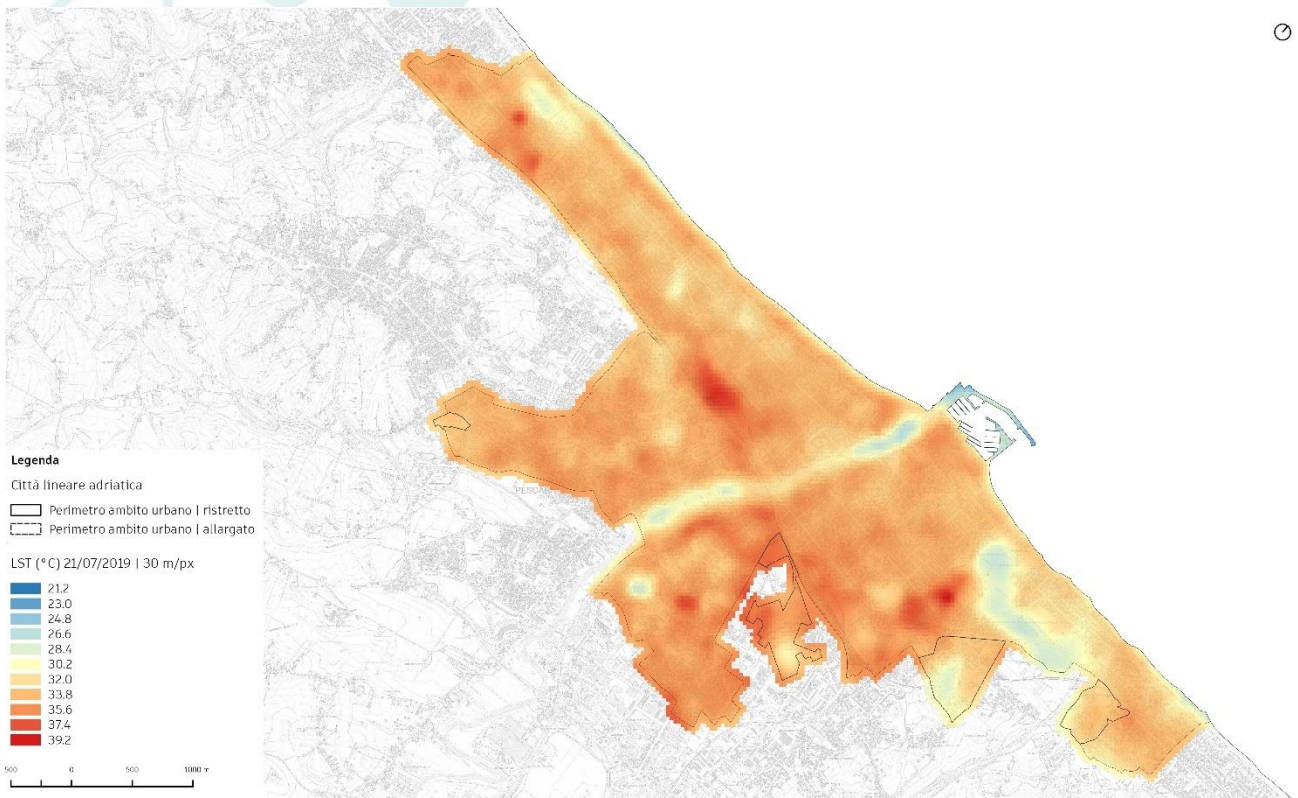
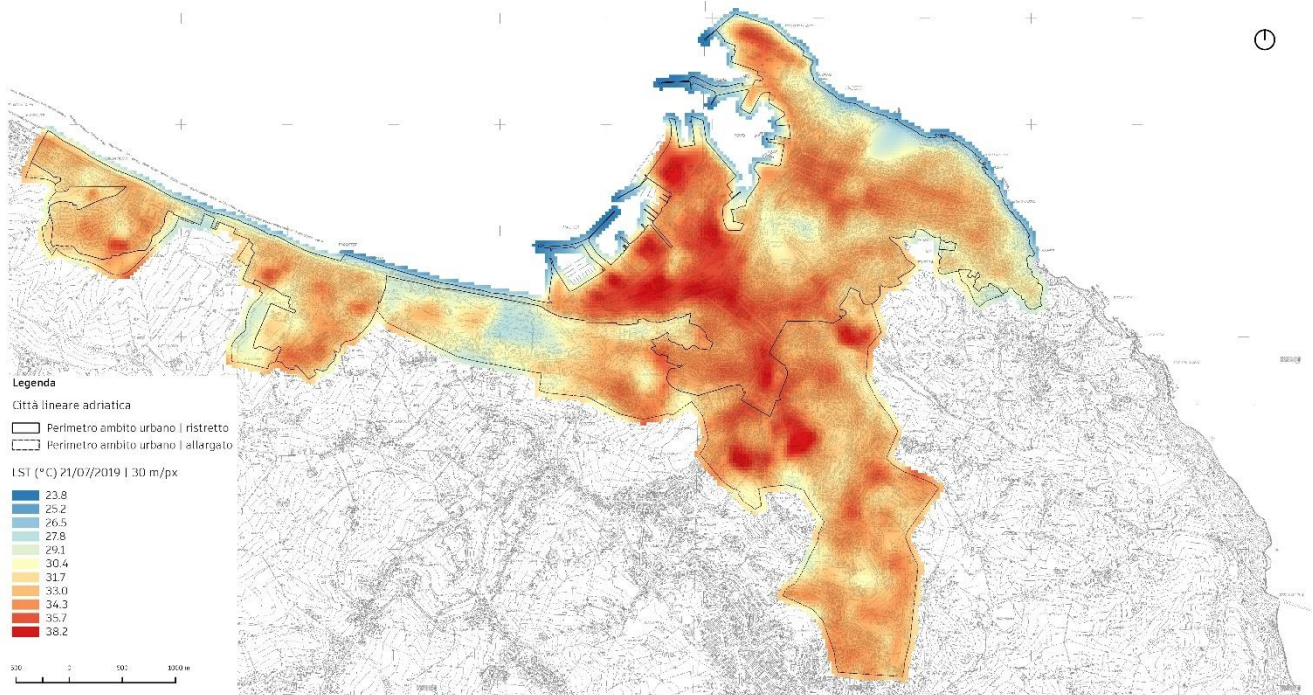
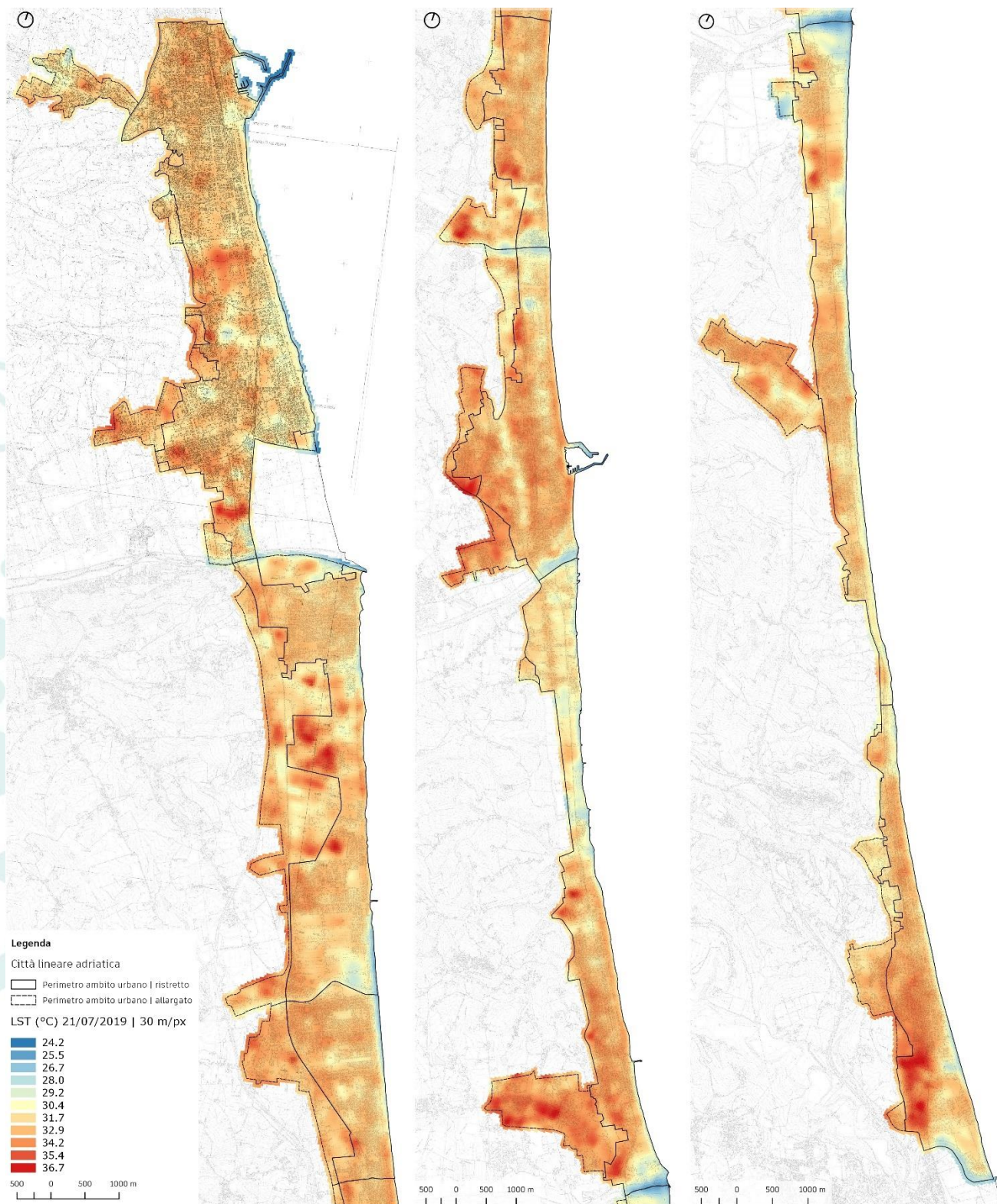
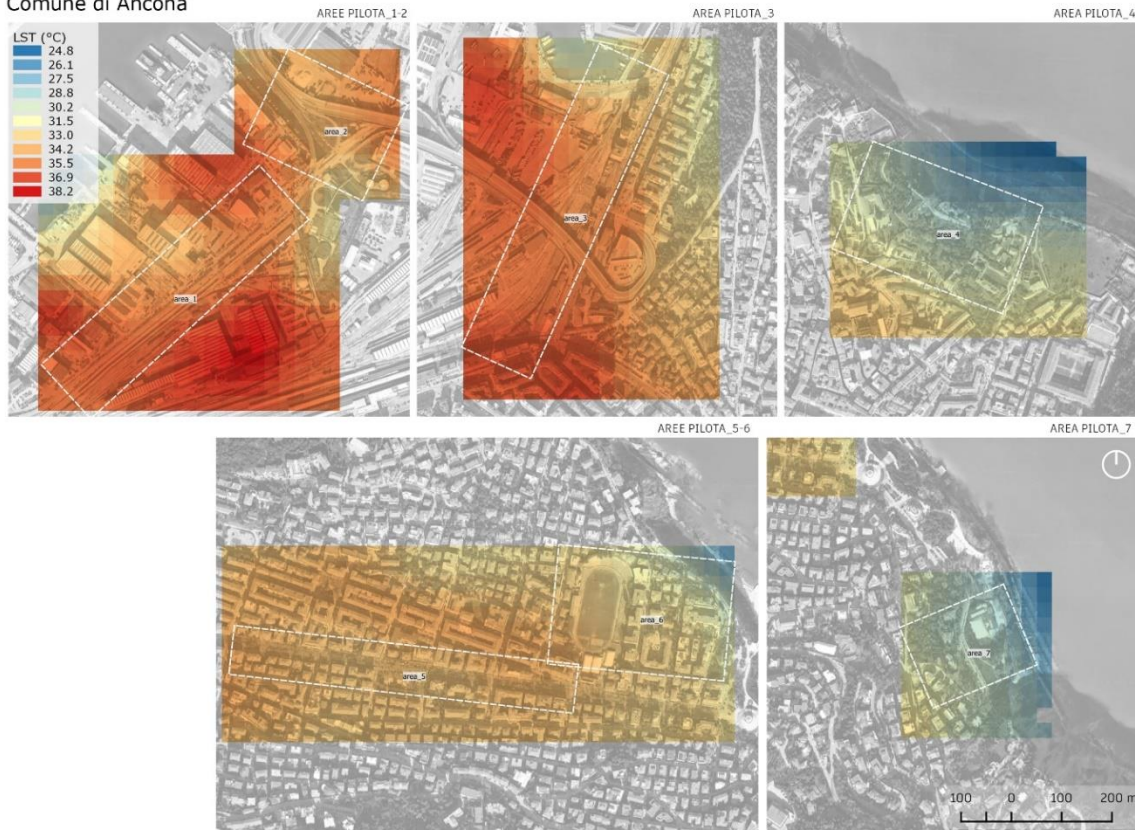


fig.9 In evidenza l'indice LST calcolato per il Comune di Ancona (sopra) e di Pescara (sotto)



*fig.10 In evidenza, e in progressione dall'alto in basso e da sinistra a destra, l'indice LST calcolato per i Comuni di San Benedetto del Tronto, Martinsicuro, Alba Adriatica; Tortoreto, Giulianova, Roseto; Pineto, Silvi.*

Comune di Ancona



Comune di Pescara

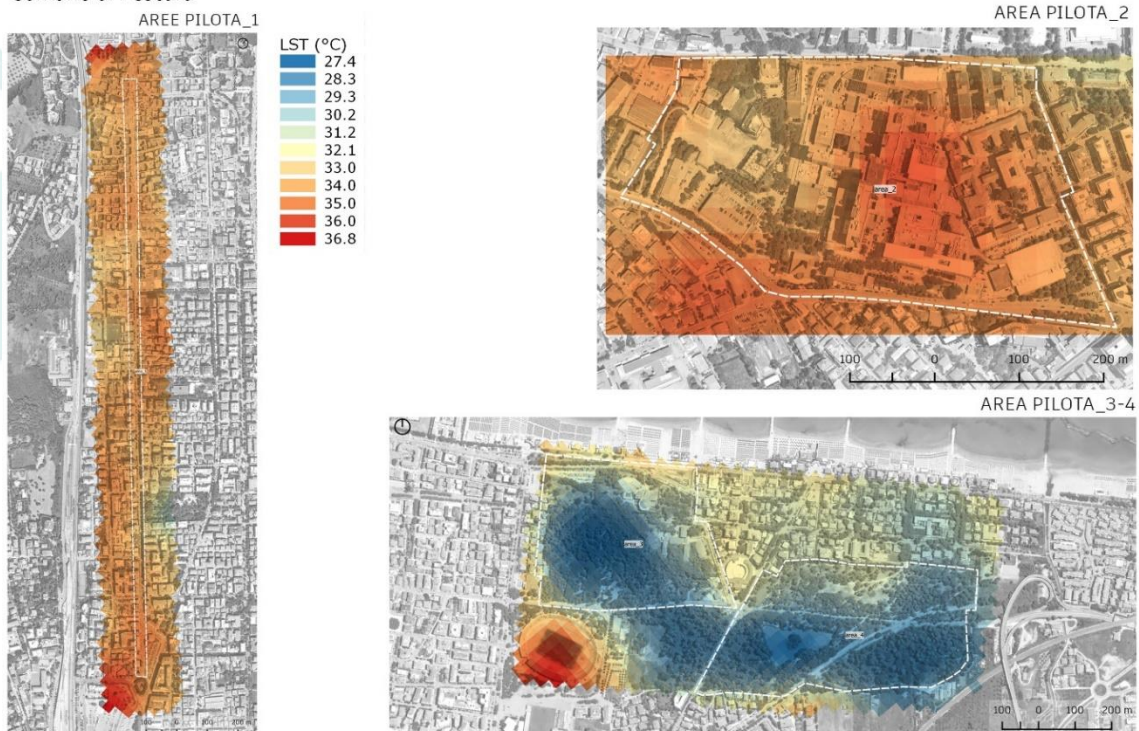


fig.11 Visuali di dettaglio dell'indice LST calcolato per le aree pilota di Ancona e Pescara

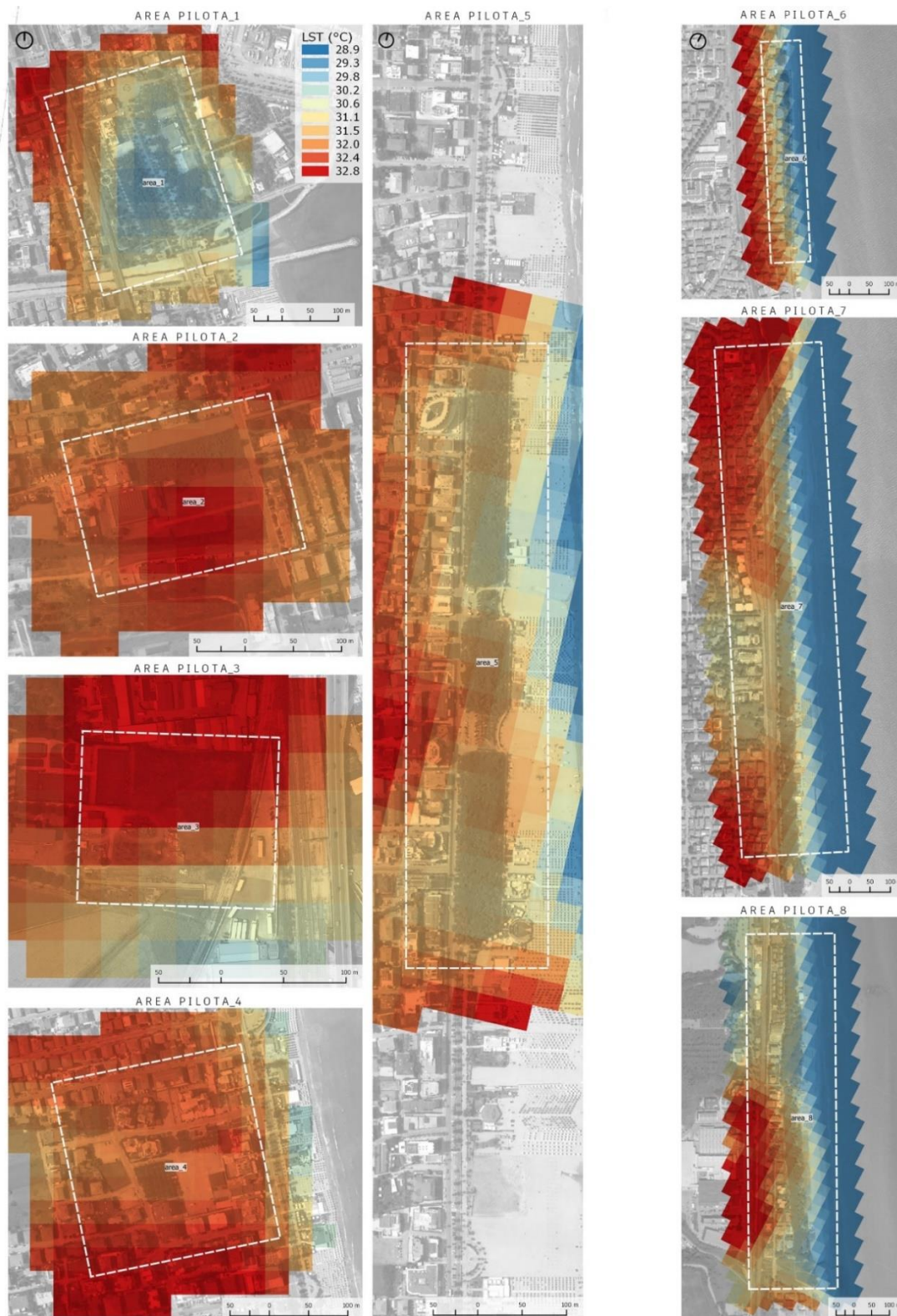


fig.12 Visuali di dettaglio dell'indice LST calcolato per le aree pilota di S. Benedetto del Tronto (1-2-3), Alba Adriatica (4-5), Pineto (6-7), Silvi (area 8)



## Acquisizione e distribuzione dei dati ambientali per la generazione di un profilo meteo-climatico

Al fine di indagare gli aspetti meteo-climatici delle zone interessate dalla ricerca sono stati acquistati i dati delle centraline attraverso un servizio che ha il compito di validare e georeferenziare il dato (World Weather Online<sup>7</sup>). I dati acquisiti hanno una estensione temporale che va dal 2011 a metà del 2022 (data odierna) e contengono le seguenti informazioni:

- Location
- Date/Time
- Air Temperature
- Windspeed/Winddirection
- Precipitation
- Relative Humidity
- Visibility
- Pressure
- Cloudcover
- Heatindex
- Dewpoint
- Windchill/Windgust
- Feelslike Temperature
- Uvindex

Queste informazioni sono state utilizzate per costruire i grafici presenti in questo report e, molte di queste, verranno successivamente utilizzate per la costruzione di un Weather data file in formato EPW<sup>8</sup>. I dati orari sono stati archiviati in un database comune formato da circa un milione di record; al fine di gestire la mole di informazioni sono stati costruiti degli strumenti specifici (su piattaforma

---

<sup>7</sup> <https://www.worldweatheronline.com/>

<sup>8</sup> Questo formato è uno standard utilizzato da diversi software e nasce dallo sviluppo di EnergyPlus  
<https://energyplus.net/>

parametrizzata Grasshopper<sup>9)</sup>) per effettuare le indagini meteo climatiche. L'utilizzo di uno strumento parametrico sin dalle prime fasi è utile per ottenere un data set standardizzato e implementabile il quale verrà utilizzato anche nelle fasi successive della ricerca nelle quali saranno effettuate operazioni di downscaling sul territorio analizzando in modo preciso il microclima locale.

Al fine di semplificare le operazioni, i dati delle città coinvolte sono stati suddivisi in quattro gruppi omogeni (sotto il profilo climatico) come mostrato nella tabella seguente.

tab.4 Raggruppamento in quattro zone omogenee dal punto di vista meteo climatico

City	Coordinate	Google maps plus code	Group
Ancona	42.88516928837891, 13.915096138866966	VWP8+329 Martinsicuro, Provincia di Teramo, Italia	1
San Benedetto del Tronto	42.954563321649644, 13.880004440423859	XV3J+R2C San Benedetto del Tronto, Provincia di Ascoli Piceno, Italia	2
Martinsicuro	42.88516928837891, 13.915096138866966	VWP8+329 Martinsicuro, Provincia di Teramo, Italia	2
Alba Adriatica	42.8270934482265, 13.930143609309905	RWGJ+R3J Alba Adriatica, Provincia di Teramo	3
Giulianova	42.75507215009131, 13.963487453185918	QX47+29H Giulianova, Provincia di Teramo, Italia	3
Roseto degli Abruzzi	42.67042428855379, 14.018159687341589	M2C9+577 Roseto degli Abruzzi, Provincia di Teramo, Italia	3
Tortoreto	42.80365629756125, 13.917095496313655	RW38+FR9 Tortoreto, Provincia di Teramo, Italia	3
Pineto	42.60987067789971, 14.066268211642692	J358+WGR Pineto, Provincia di Teramo, Italia	4

<sup>9)</sup> Software di programmazione visuale legato al CAD Rhinoceros che ne amplia le possibilità grazie ad un approccio parametrico <https://www.grasshopper3d.com>. Con Grasshopper si può accedere all'utilizzo dei Ladybug Tools che sono una raccolta di applicativi gratuiti che supportano la progettazione ambientale.

City	Coordinate	Google maps plus code	Group
Silvi	42.55077192258711, 14.118570435570092	H429+8C4 Silvi, Provincia di Teramo, Italia	4
Pescara	42.45384654667533, 14.23227901358361	F63J+GWJ Pescara, Provincia di Pescara, Italia	4

### Serie storica di dati – periodo 2011-2021

L'acquisizione di una serie storica di dati permette di comprendere e verificare quali sono state le condizioni climatiche nelle zone di interesse e di effettuare previsioni statistiche in ausilio alla progettazione e alla pianificazione futura.

I dati analizzati in questa fase sono stati: temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento. Questa terna di dati è utile per valutare un quarto dato ovvero quello dell'indice UTCI (Universal Thermal Climate Index) il quale combina e sintetizza i valori suddetti per valutare lo stato di comfort esprimendo il suo valore in temperatura percepita. È un indice recente che ha alla base il concetto di temperatura equivalente descritto dal modello termofisiologico UTCI-Fiala (Fiala et al. 2012) combinato con un complesso modello matematico che descrive le caratteristiche di isolamento ed evapotraspirazione dell'abbigliamento (Havenith et al., 2012). Per calcolare questo indice sono necessari la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, la velocità del vento e l'umidità (espressa come pressione del vapore acqueo o umidità relativa); Voi se non sono presenti i valori di temperatura media radiante (come in questo caso) sono assunti pari alla temperatura dell'aria.

Di seguito sono riportati i grafici che mostrano gli andamenti delle variabili temperatura, umidità relativa, velocità del vento e indice UTCI nel periodo dal 2011 al 2021 (anni di cui si hanno la serie storiche complete).

gli andamenti mostrano differenze di temperatura tra i vari gruppi più nette nelle parti fredde dell'anno, mentre le differenze si vanno ad assottigliare nei periodi caldi dove si è raggiunta la temperatura media di 27,7 °C con una frequenza crescente. Il picco massimo è stato raggiunto da ogni gruppo nel luglio 2017 con una temperatura media di 42 °C. Il picco minimo è stato raggiunto dal gruppo tre nel gennaio 2018 con una temperatura media di -13 °C (fig.12).

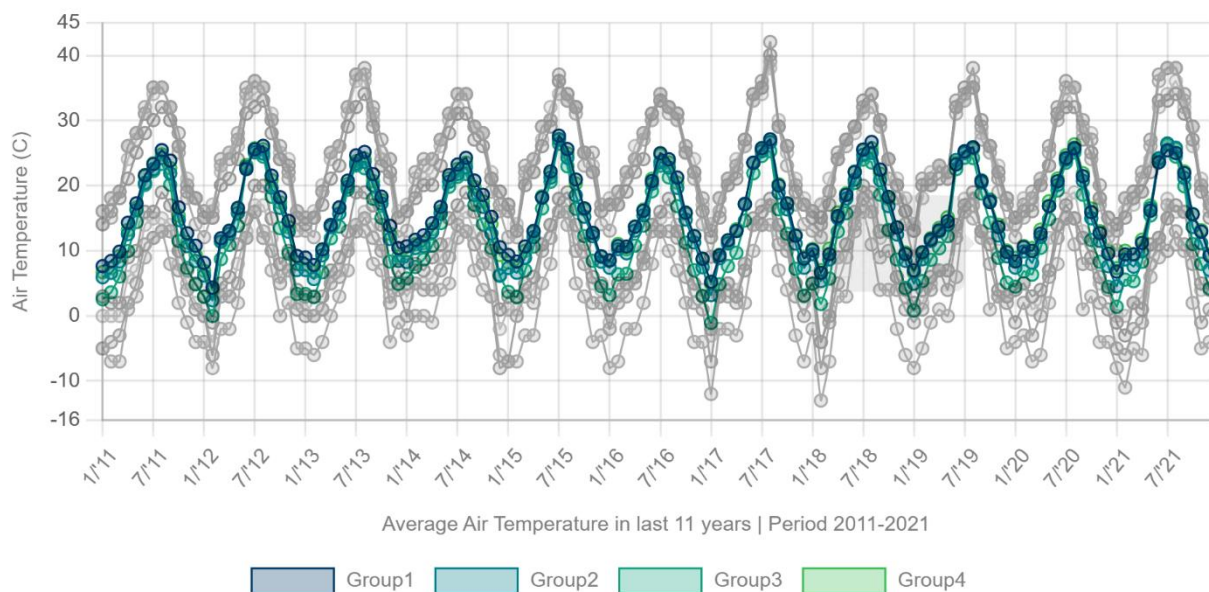


fig.12 Temperatura dell'aria – periodo 2011-2021

In correlazione con il grafico delle temperature, il grafico dell'umidità relativa un livello di siccità elevato nel luglio 2017 dove tutti i gruppi hanno raggiunto un valore di umidità relativa media inferiore al 50% (fig.13).

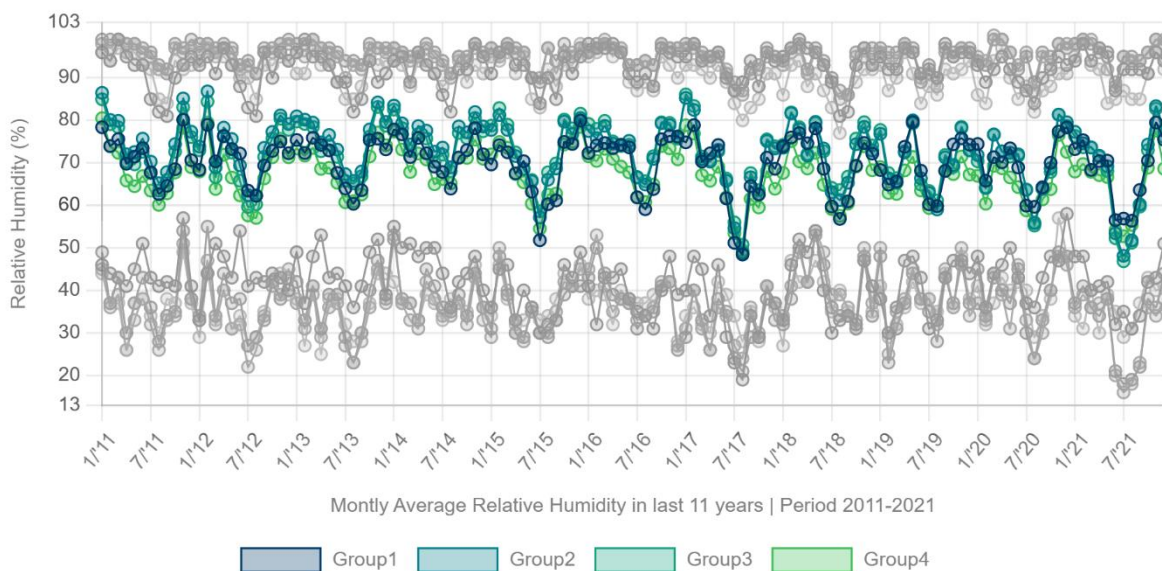


fig.13 Umidità relativa – periodo 2011-2021

I venti sono voi mediamente più intensi nel gruppo uno rispetto agli altri gruppi attestandosi in un range che va da 1,3 m/s fino a 5 m/s. nei periodi più freddi dell'anno sono presenti raffiche che vanno oltre i 17 m/s (fig.14).

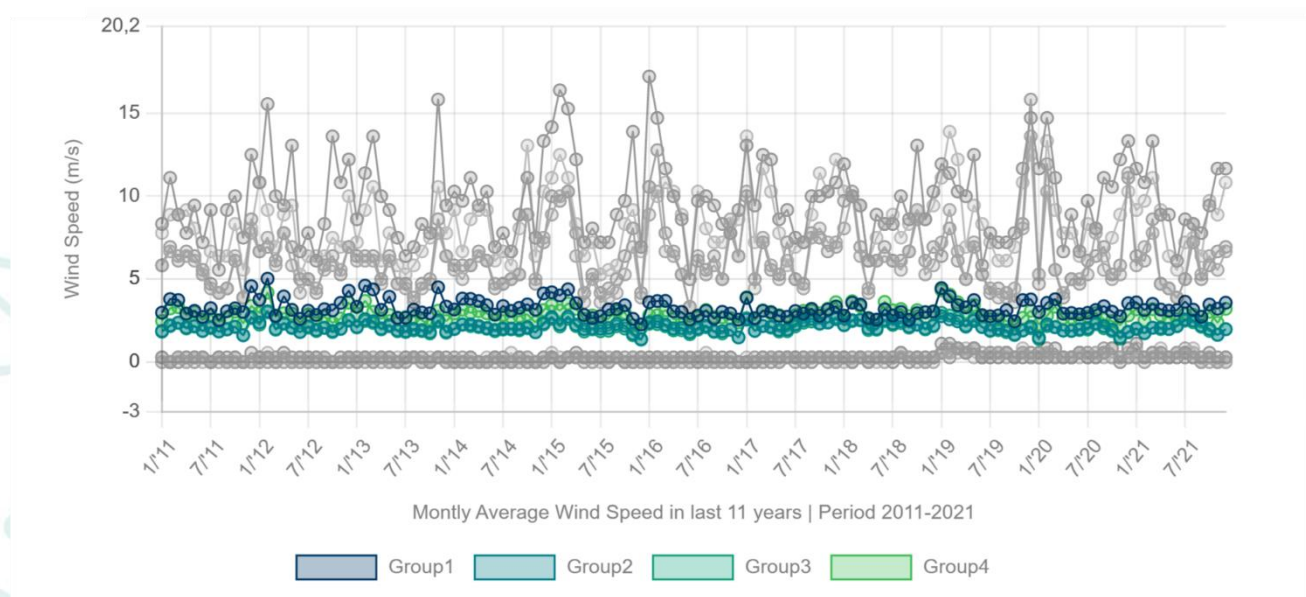


fig.14 Velocità del vento – periodo 2011-2021

Come da letteratura, l'andamento dell'indice UTCI indica uno stato di comfort quando il suo valore è compreso tra i 9 °C e i 26 °C; al di fuori di questo range il fruitore percepisce uno stato di discomfort che tende al caldo oltre i 26 °C e al freddo sotto i 9 °C. I casi studio mostrano un andamento omogeneo in tutti i gruppi mostrando una media che tende a superare lo stato di comfort nei periodi più caldi con picchi che vanno abbondantemente oltre i 50 °C di temperatura percepita con frequenza in tendente aumento nel tempo (fig.15).

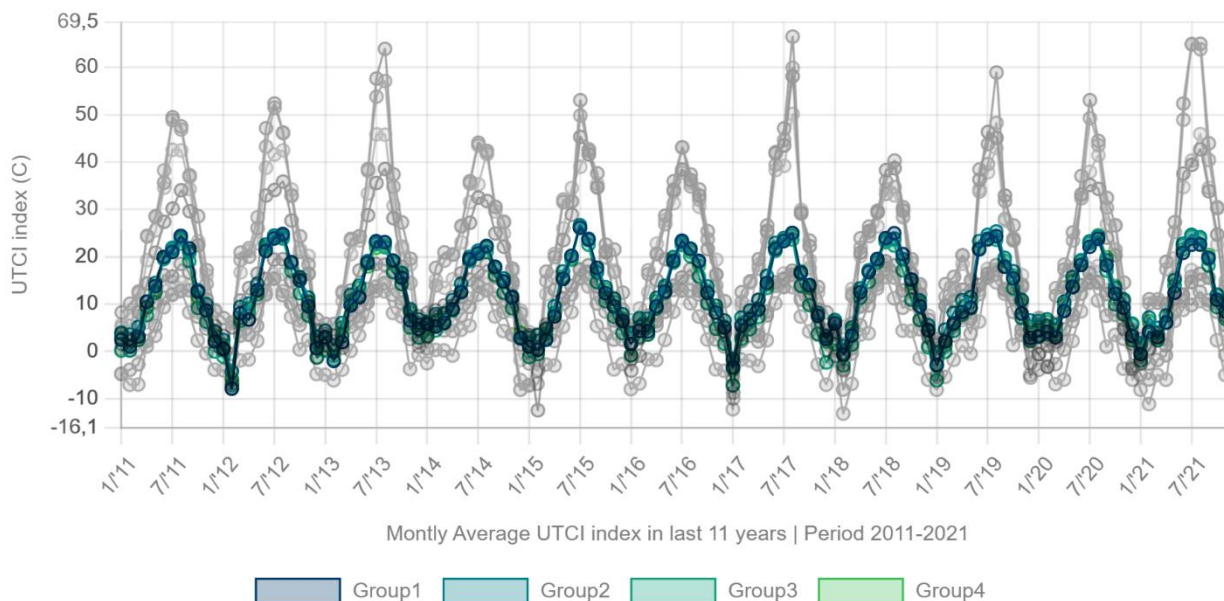


fig. 15 Indice UTCI - periodo 2011-2021

#### Serie storica di dati - periodo 2017-2021

Al fine di poter delineare con maggiore attenzione il profilo climatico nelle zone interessate dalla ricerca, sono state condotte indagini ad una scala temporale ridotta al periodo 2017-2021. I grafici sono calcolati su base mensile riportano i quattro gruppi mostrando gli andamenti medi, minimi e massimi dei quattro gruppi presi singolarmente. I dati precedenti vengono confermati e mostrati con maggior chiarezza. Lo studio di un periodo più limitato nel quale vengono a verificarsi condizioni sempre più sfavorevoli è utile ai fini della fase successiva nella quale è stata valutata la rappresentatività del dato (fig.16 - 31).

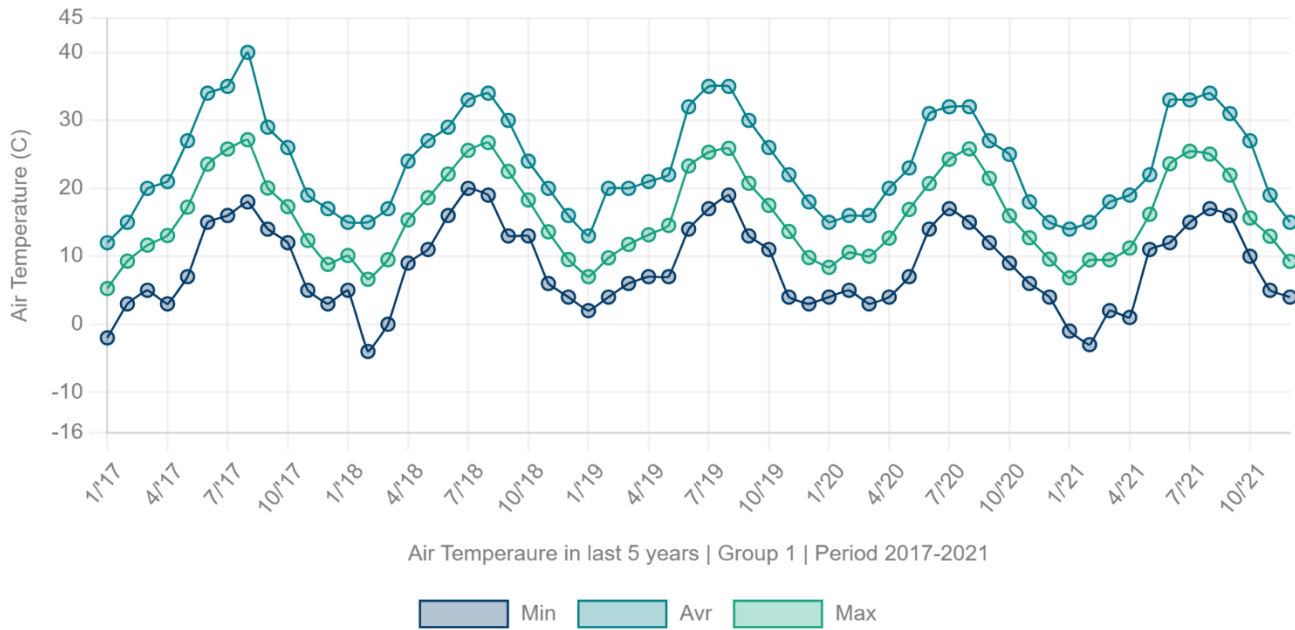


fig.16 Temperatura dell'aria – periodo 2017-2021 - Gruppo 1

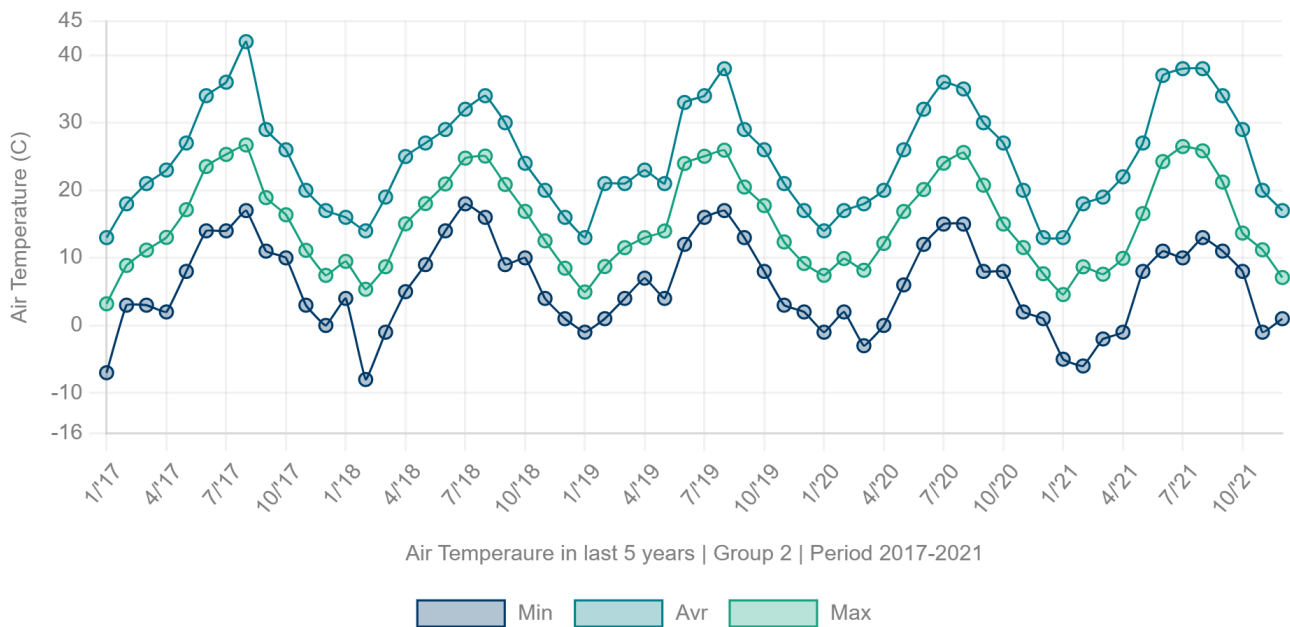


fig.17 Temperatura dell'aria – periodo 2017-2021 - Gruppo 2

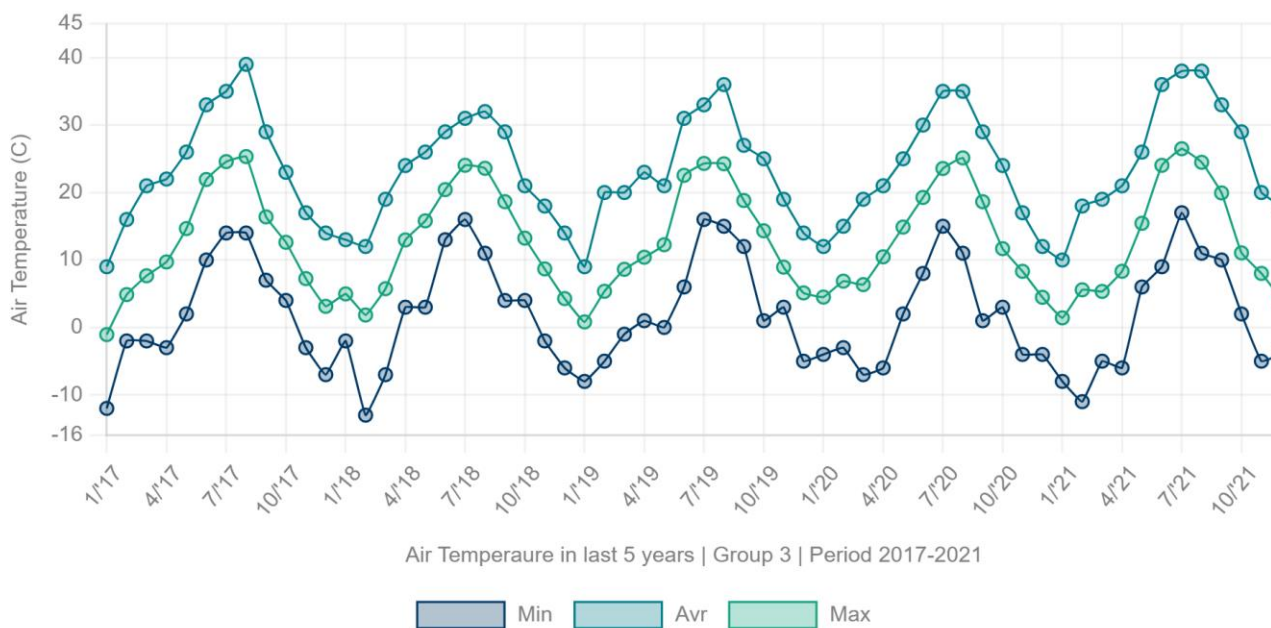


fig.18 Temperatura dell'aria – periodo 2017-2021 - Gruppo 3

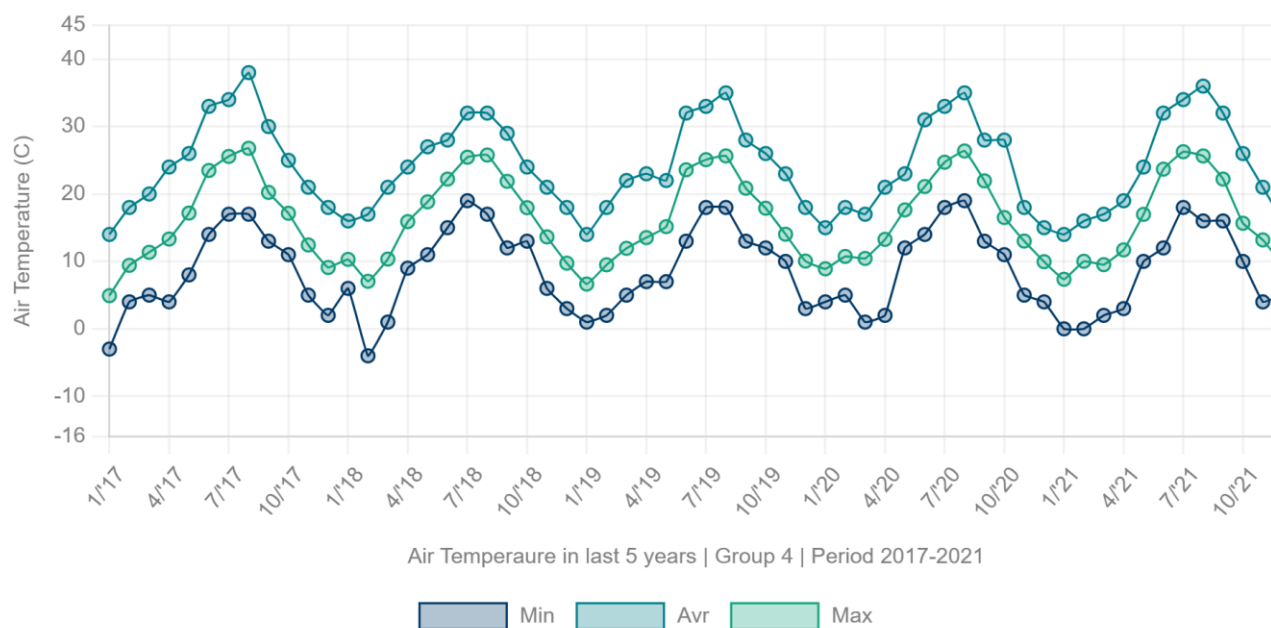


fig.19 Temperatura dell'aria – periodo 2017-2021 - Gruppo 4



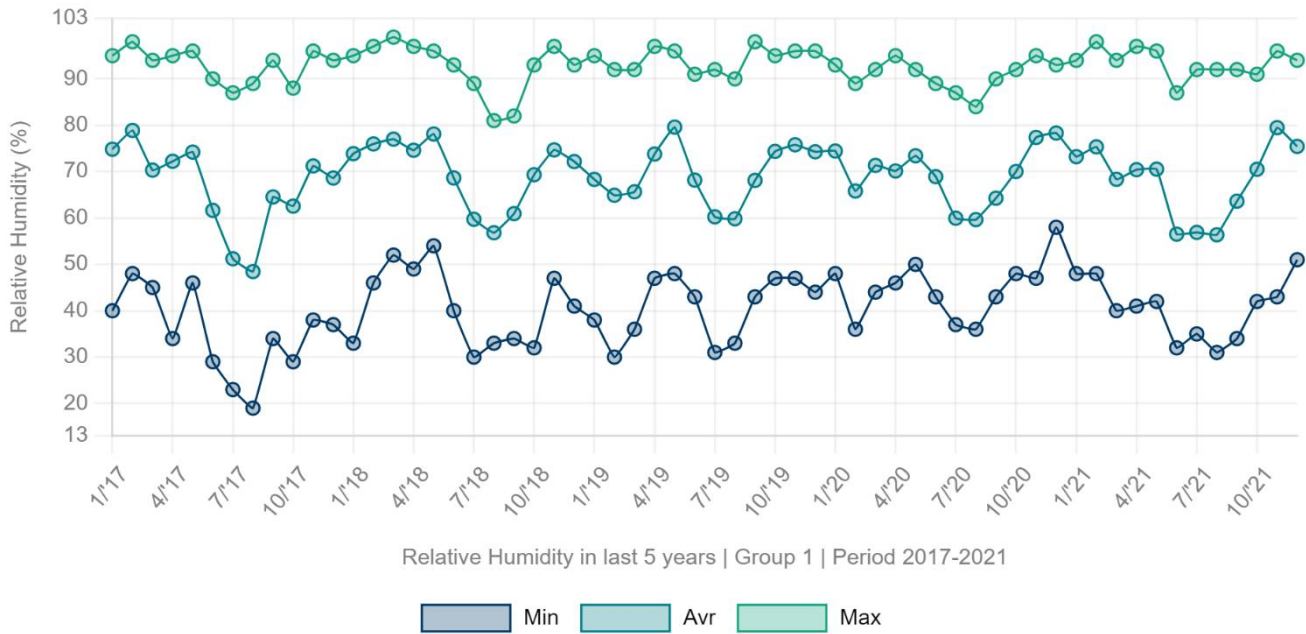


fig. 20 Umidità relativa – periodo 2017-2021 Gruppo 1

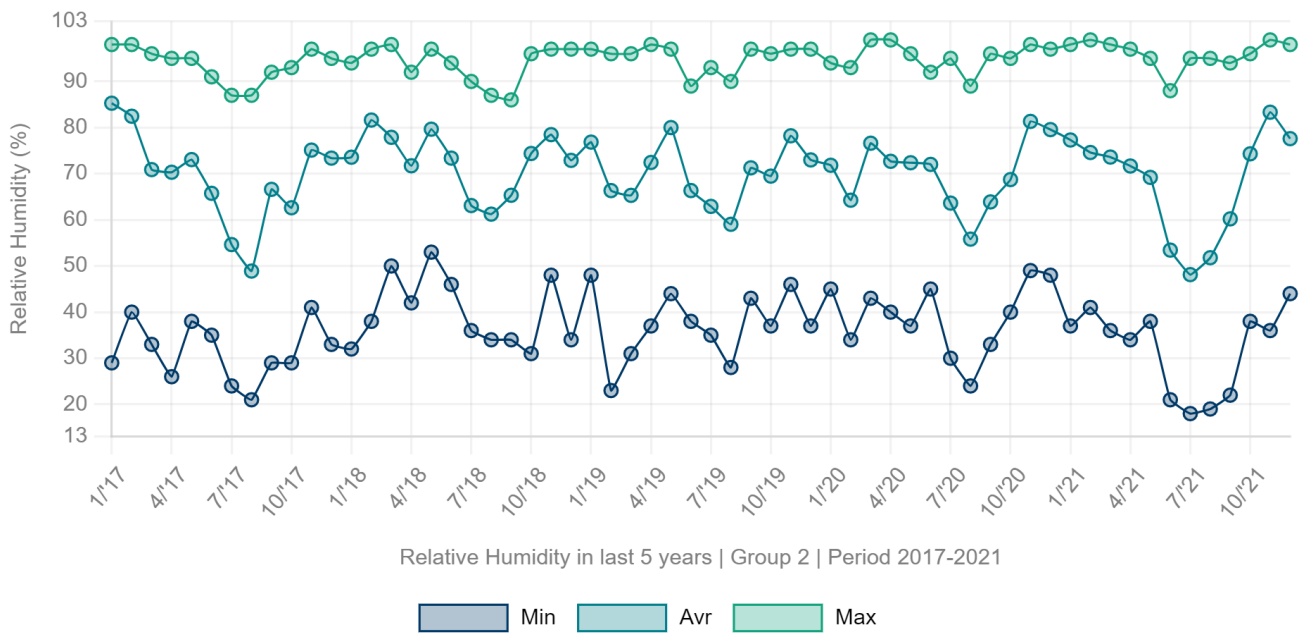


fig. 21 Umidità relativa – periodo 2017-2021 - Gruppo 2

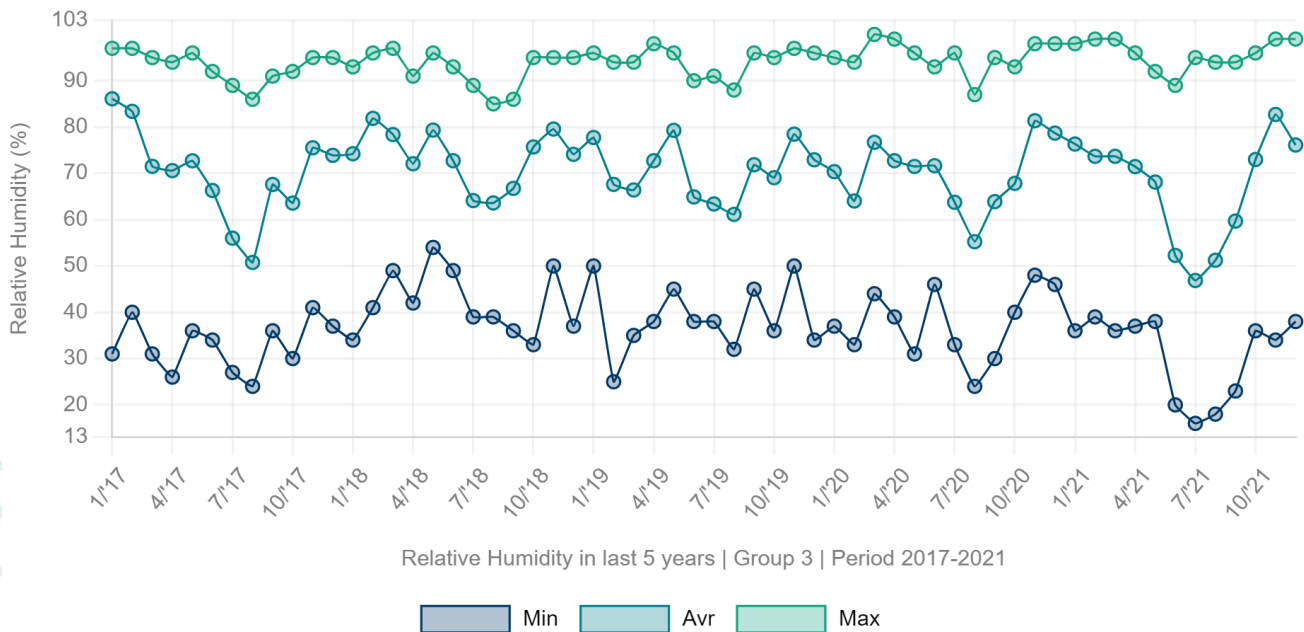


fig. 22 Umidità relativa – periodo 2017-2021 - Gruppo 3

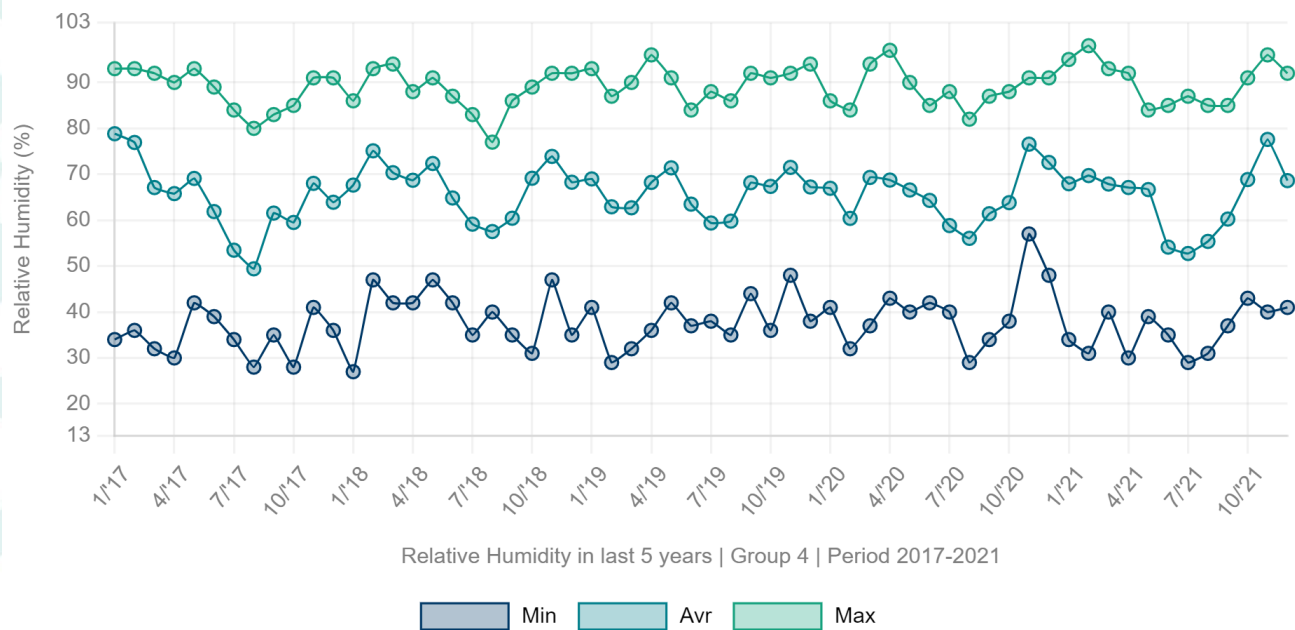


fig. 23 Umidità relativa – periodo 2017-2021 - Gruppo 4

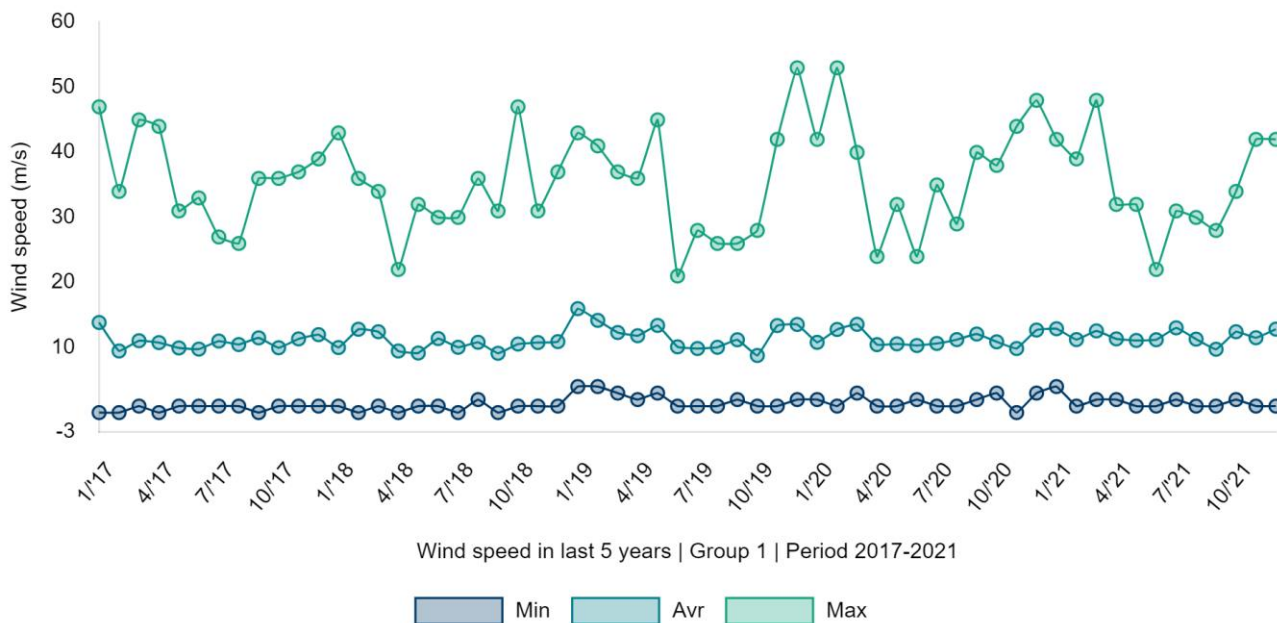


fig. 24 Velocità del vento – periodo 2017-2021 - Gruppo 2

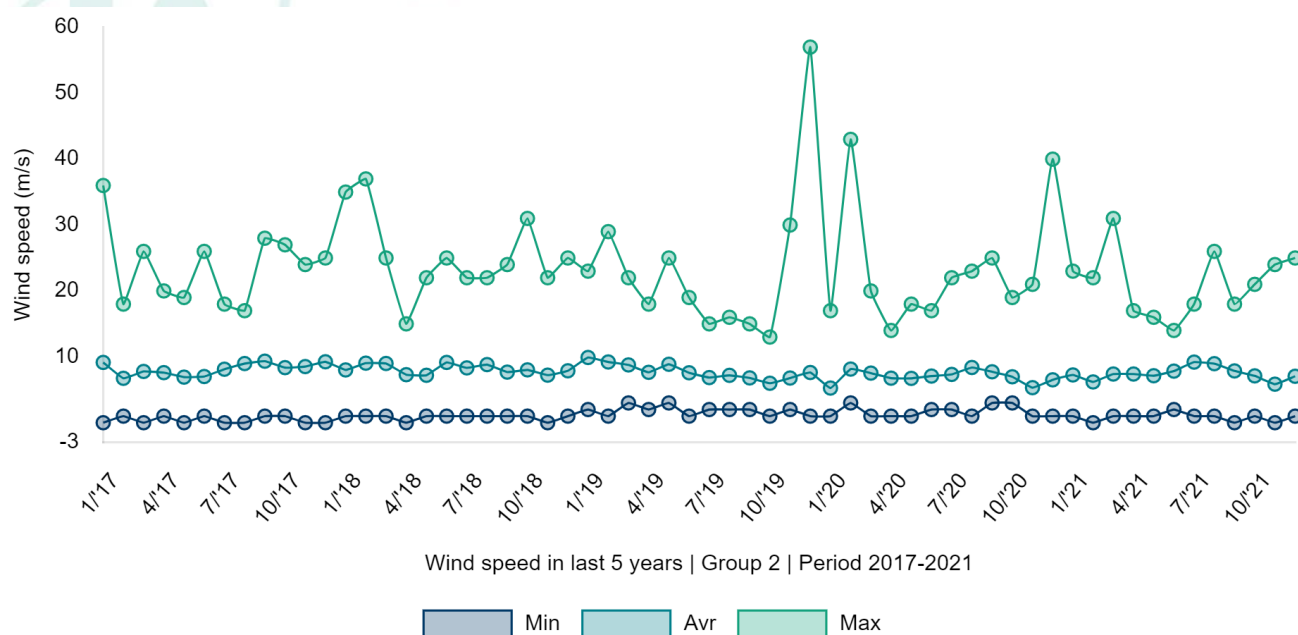


fig. 25 Velocità del vento – periodo 2017-2021 - Gruppo 2

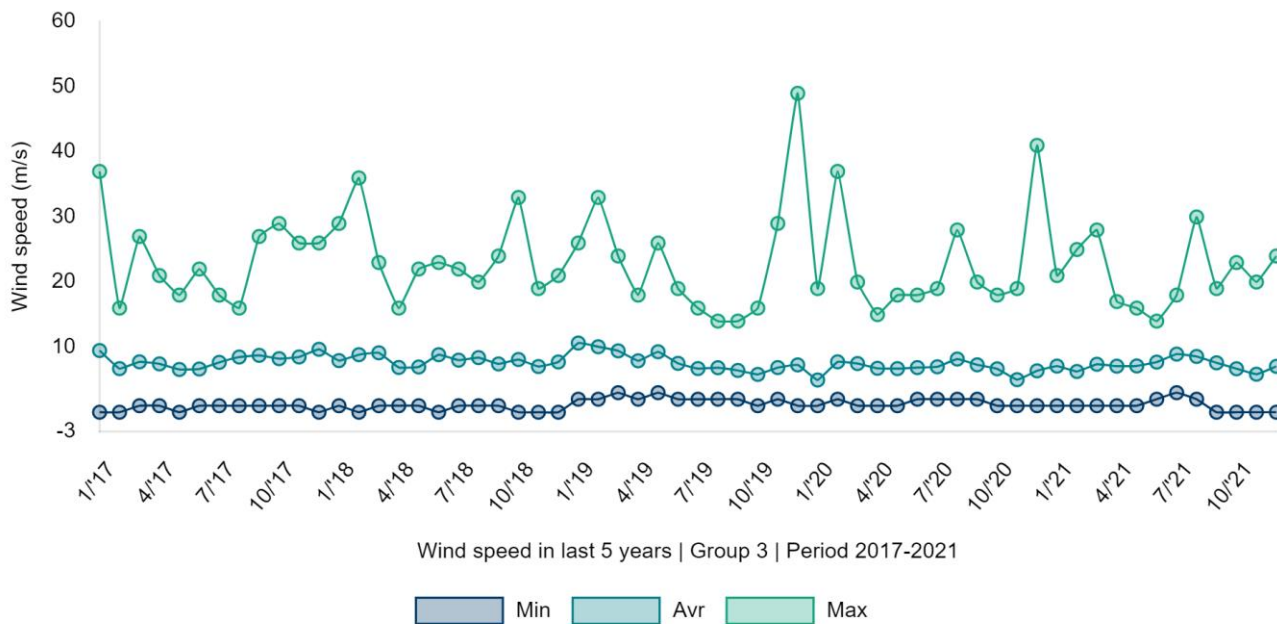


fig. 26 Velocità del vento – periodo 2017-2021 - Gruppo 3

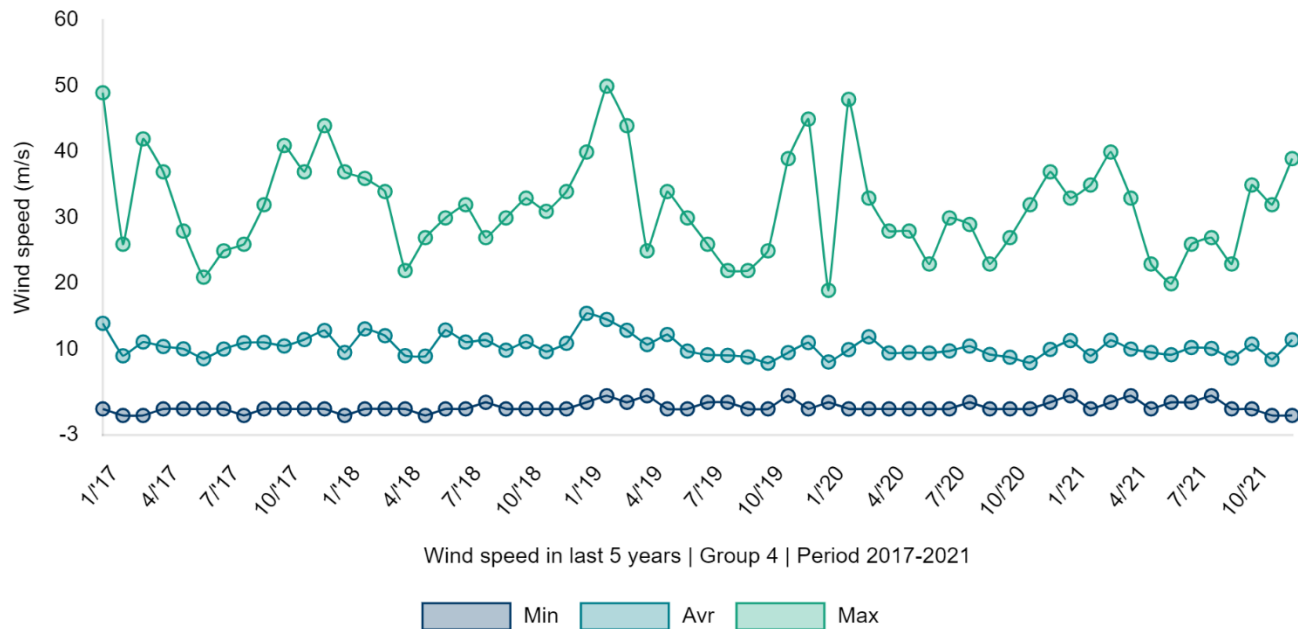


fig.27 Velocità del vento – periodo 2017-2021 - Gruppo 4

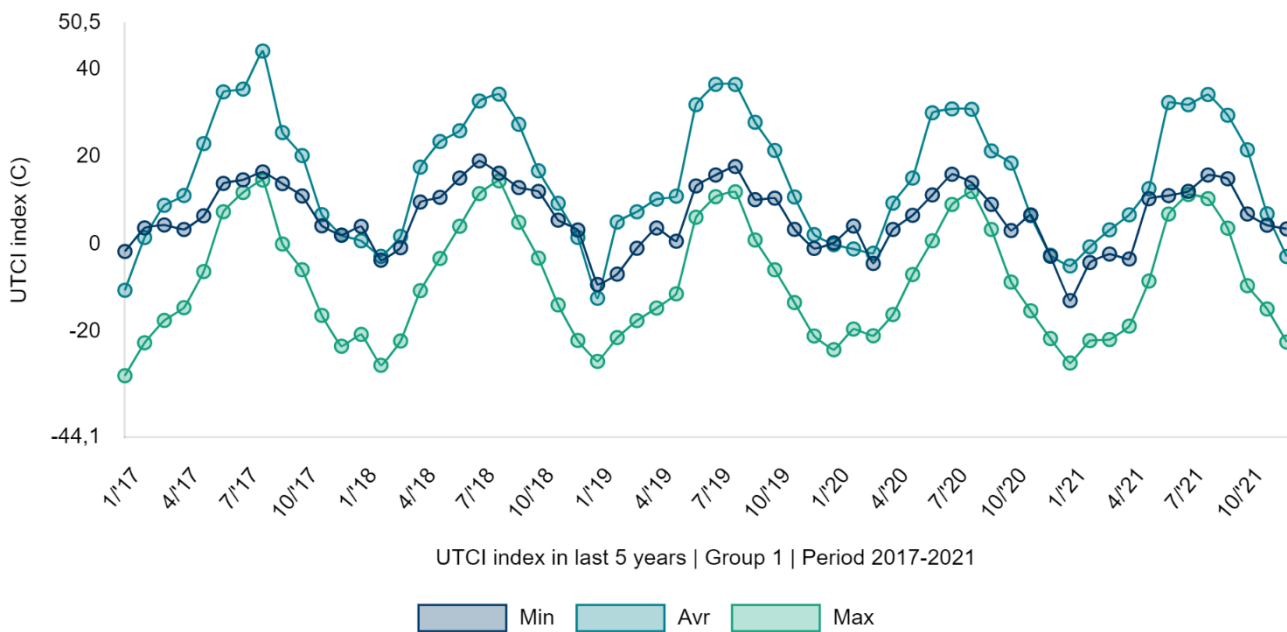


fig.28 Indice UTCI - periodo 2017-2021 - Gruppo 1

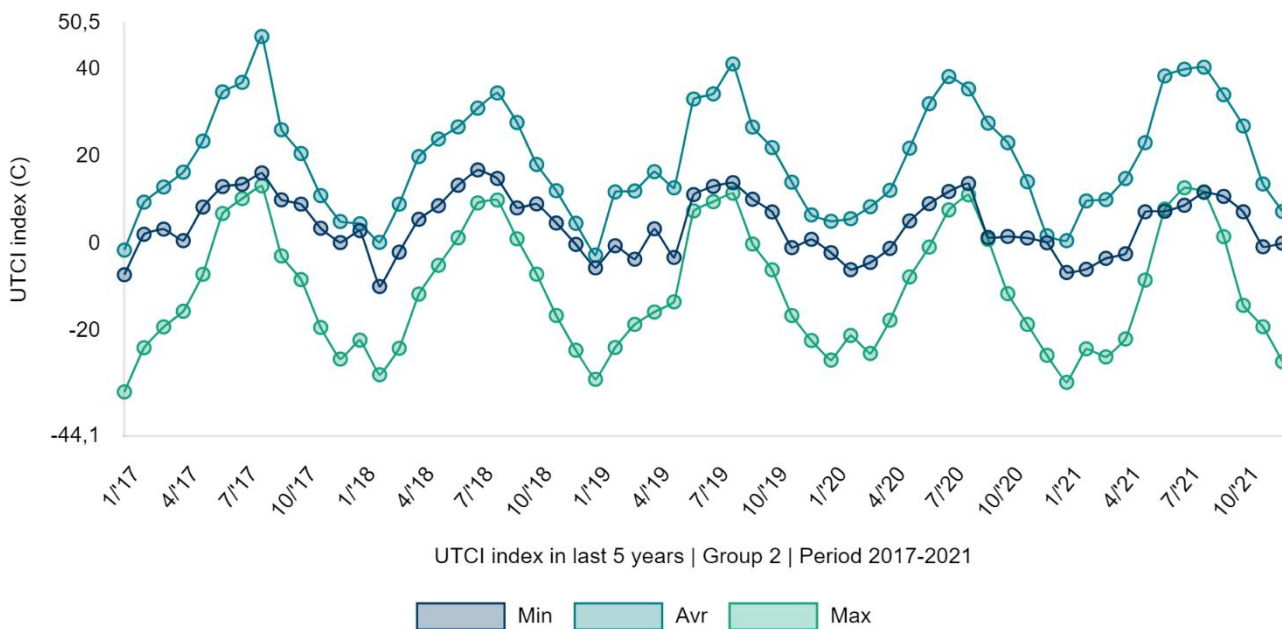


fig.29 Indice UTCI - periodo 2017-2021 - Gruppo 2

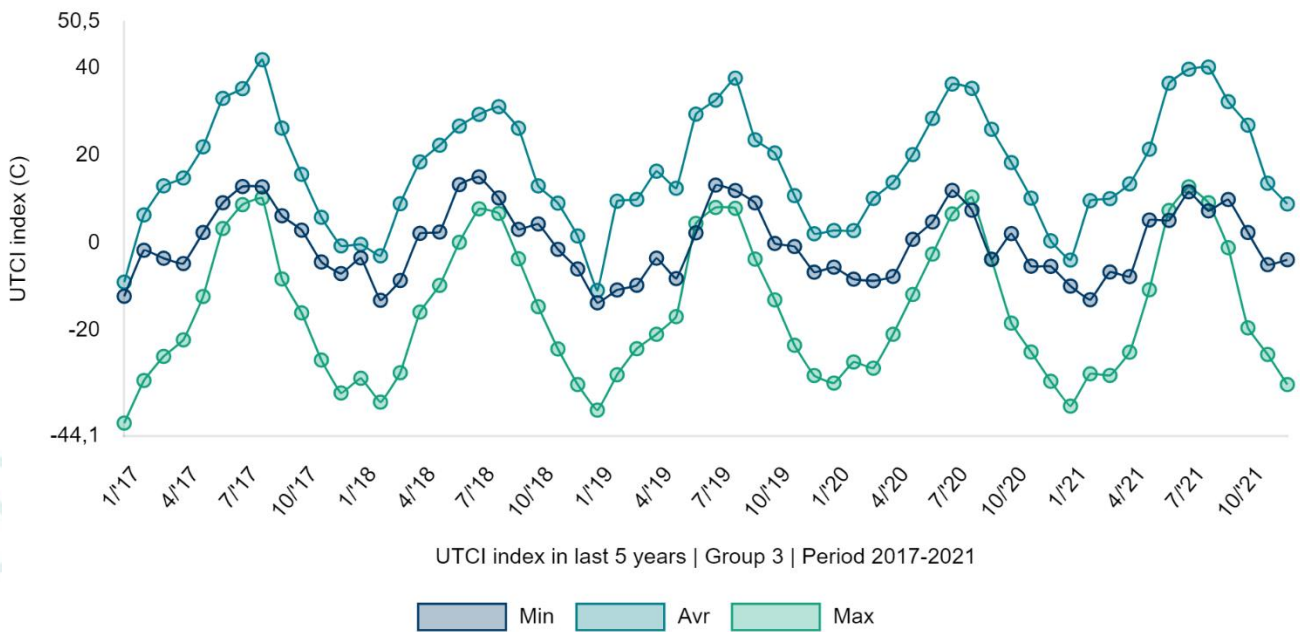


fig.30 Indice UTCI – periodo 2017-2021 - Gruppo 3

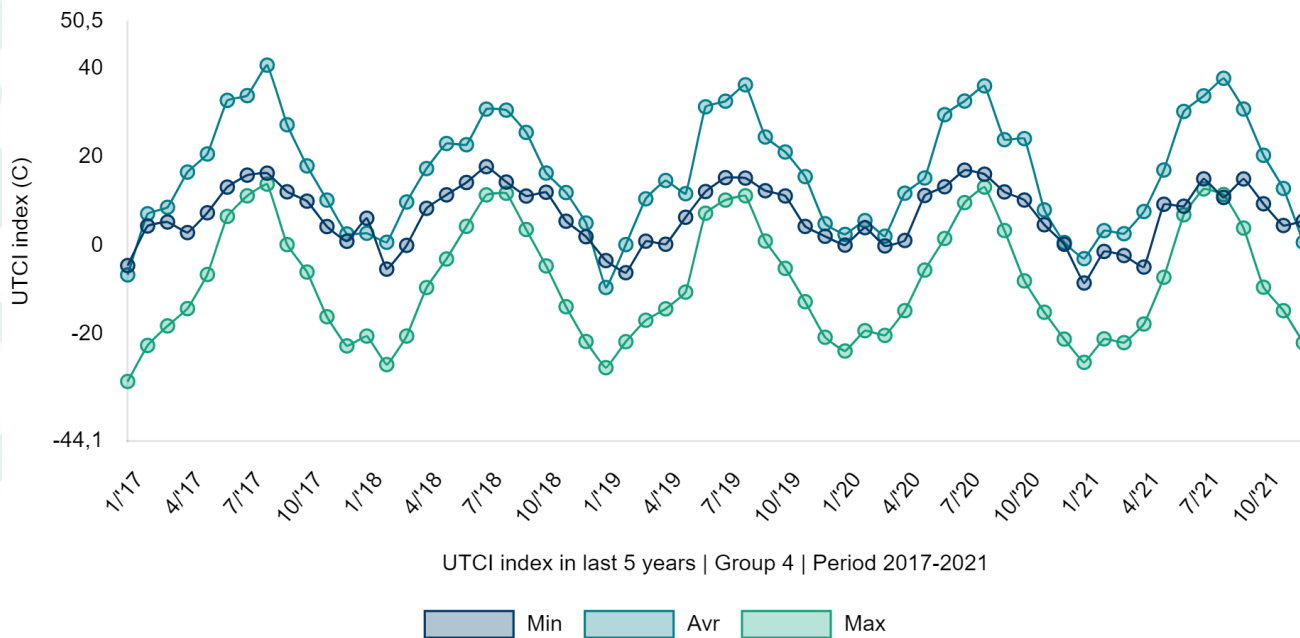


fig.31 Indice UTCI – periodo 2017-2021 - Gruppo 4

## Calcolo del giorno rappresentativo

Un tipo di rappresentazione dei dati molto utilizzata in Italia è quella del cosiddetto 'giorno tipico' (o tipo), che può essere definito come l'andamento orario giornaliero dei valori dei parametri meteorologici, dove ogni valore orario ( $\overline{C}_k$ ) è espresso tramite il valore medio dei parametri meteorologici considerati ( $c_{ik}$ ), riferite alla stessa ora del giorno, calcolato sul periodo preso in esame. Il giorno tipico altro non è che un giorno fittizio i cui valori orari sono dati dalla media dei valori, calcolati, ora per ora, all'intero intervallo di tempo studiato.

Tale intervallo può essere un mese, una stagione, un anno o un raggruppamento di particolari giorni accomunati da caratteristiche che si desidera analizzare. Il giorno tipico può essere espresso matematicamente da:

$$\overline{C}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{ik} \quad \text{con } k = 1 \dots 24$$

dove  $N$  è il numero di giorni che formano l'intervallo di cui si calcola il giorno tipico e  $c_{ik}$  è il valore alla  $k$ -esima ora del  $i$ -esimo giorno.

Tale valutazione, però, costituisce una rappresentazione mediata della realtà, che non tiene conto del reale andamento della quantità sotto esame. Inoltre, l'utilizzo del giorno tipico nei modelli matematici implica l'impiego di variabili meteorologiche mediate allo stesso modo. A causa della non linearità dei fenomeni considerati, medie cosiffatte possono portare alla perdita di una notevole quantità di informazioni e, di conseguenza, a conclusioni sbagliate.

Da qui nasce l'esigenza di un nuovo metodo per rappresentare l'andamento orario dei valori che, pur preservando la sinteticità del giorno tipico, fornisca una rappresentazione più aderente alla realtà dei dati. Questo è ciò che si intende ottenere con il metodo del 'giorno rappresentativo' (Tirabassi and Nasseti, 1999).

Il giorno rappresentativo è definito come il giorno reale (cioè una serie temporale di 24 ore registrata da una stazione di rilevamento) caratterizzato dal minore scostamento rispetto a tutti i giorni reali dell'intervallo di tempo considerato (mese, stagione o anno). Più precisamente il giorno la cui somma, sulle 24 ore, dei quadrati degli scarti orari da tutti gli altri giorni del periodo considerato è minima.

In notazione matematica indichiamo con  $A_{ij}$  la matrice dei quadrati degli scarti:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{24} (c_{ki} - c_{kj})^2 \quad \text{con } i, j=1, 2 \dots N$$

Si adotta  $A_i$  per indicare la somma degli indici di riga (o di colonna, visto che la matrice  $A_{ij}$  risulta simmetrica con tutti zeri sulla diagonale):

$$A_i = \left( \sum_{j=1}^N A_{ij} \right)$$

Si definisce giorno rappresentativo (GR) il giorno che minimizza le somme degli indici di riga, cioè l' $i$ -esimo giorno quando  $A_i$  è minima:

$$\min(A_i) = GR.$$

Il vantaggio di tale strumento, rispetto al giorno tipico, sta appunto nel fatto che esso è un giorno reale, identificato con una data precisa. Il giorno rappresentativo può essere utilizzato per analizzare la distribuzione spaziali delle variabili meteo (temperatura, umidità, velocità e direzione del vento) attraverso l'utilizzo di modelli matematici di simulazione numerica (termofluidodinamici, CFD) in grado di valutare anche il comfort percepito attraverso opportuni indici (Predicted Mean Vote, PMV e Universal Thermal Climate Index, UTCI). In tal modo si evita così di ricorrere a variabili astratte, come il giorno tipico, mediate sull'intero periodo di studio.

Analogamente è possibile definire il giorno meno rappresentativo (GMR) come il giorno che massimizza i quadrati degli scarti, cioè il giorno in cui  $A_i$  è massima: Il giorno meno rappresentativo identifica una situazione anomala a cui spesso (ma non sempre) corrispondono valori massimi.

$$\max(A_i) = GMR.$$



Tale algoritmo è stato implementato in un opportuno strumento sviluppato con Grasshopper in grado di valutare il giorno rappresentativo, il giorno meno rappresentativo e l'elenco di rappresentatività dei giorni appartenenti al periodo di analisi considerato (2017-2022).

Essendo la temperatura dell'aria una delle variabili che meglio descrive le condizioni microclimatiche, i calcoli proposti sono stati effettuati tenendo conto di essa. I risultati per i vari gruppi sono rappresentati e confrontati in figura 32. Tra loro i giorni rappresentativi dei gruppi (tonalità del verde) risultano tutte omogenee tra loro. I meno rappresentativi (tonalità del rosso) risultano, di contro, sfalsati tra di loro e distanti dai giorni rappresentativi.

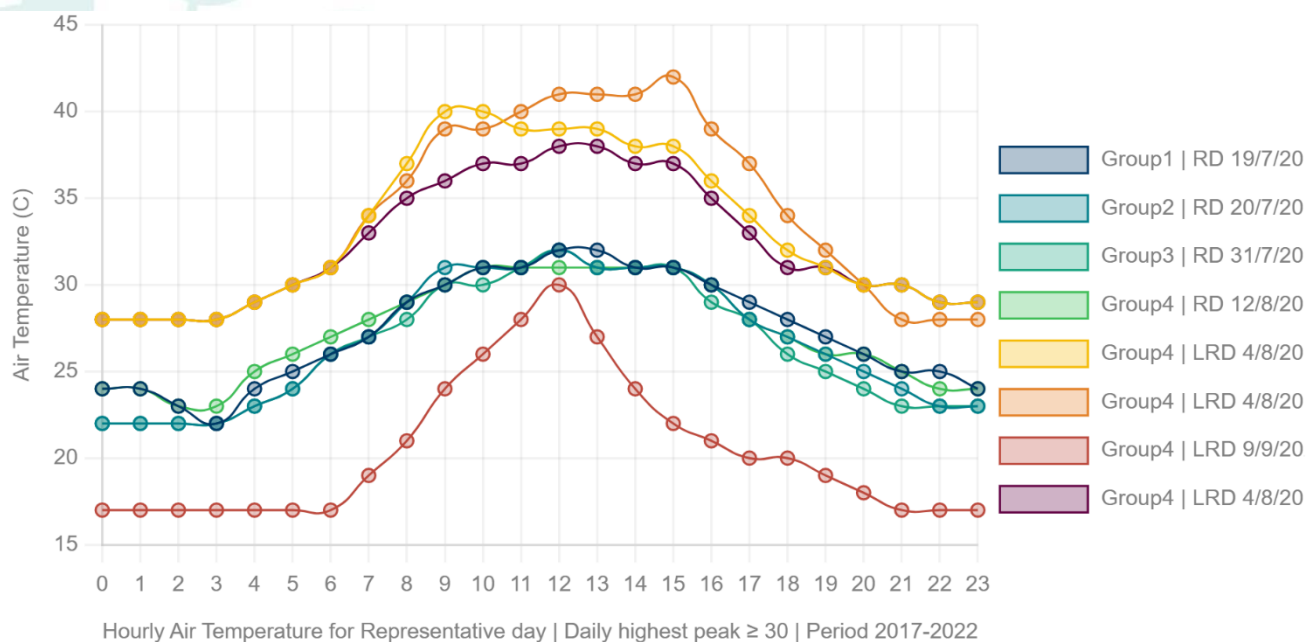


fig.32 Confronto valori di temperatura per i giorni rappresentativi e quelli meno rappresentativi dei vari gruppi

### Ricerca di un giorno rappresentativo comune

Data la necessità di confrontarsi con un territorio molto vasto e date le problematiche di reperimento del dato satellitare è stato necessario trovare un giorno comune che avesse caratteristiche simili al giorno rappresentativo. La metodologia del giorno rappresentativo prevede una catalogazione di tutte le date in ordine di rappresentatività. Valutata la rappresentatività nei quattro gruppi questo dato è stato incrociato con la disponibilità di dati satellitari (tab.1). Tra le

date utilizzabili la data del 21 luglio 2019 (RCP) è stata scelta perché è la prima data che rispetta le condizioni di utilizzabilità e presenta una deviazione nei gruppi che varia dallo 0,3% all'1% rispetto al giorno rappresentativo (tab.5 - 8).

tab.5 Classifica di rappresentatività per il gruppo 1

Date	Position	Deviation
19/7/2018	Position 0	Deviation: 0%
22/8/2018	Position 1	Deviation: 0.2%
2/7/2019	Position 2	Deviation: 0.2%
20/7/2018	Position 3	Deviation: 0.3%
29/7/2017	Position 4	Deviation: 0.3%
28/6/2021	Position 5	Deviation: 0.3%
20/8/2018	Position 6	Deviation: 0.4%
19/8/2018	Position 7	Deviation: 0.4%
13/7/2021	Position 8	Deviation: 0.5%
21/8/2018	Position 9	Deviation: 0.5%
23/7/2019	Position 10	Deviation: 0.5%
31/7/2019	Position 11	Deviation: 0.5%
18/8/2017	Position 12	Deviation: 0.5%
5/8/2018	Position 13	Deviation: 0.5%
23/8/2018	Position 14	Deviation: 0.6%
26/8/2017	Position 15	Deviation: 0.6%
4/8/2018	Position 16	Deviation: 0.7%
30/7/2021	Position 17	Deviation: 0.8%
16/8/2017	Position 18	Deviation: 0.8%
21/7/2019	Position 19	Deviation: 0.8%
1 Deviation ≤ 1% . . . . . ↓		Deviation ≥ 95%
4/8/2017	Positon 186	Deviation: 100%

tab.6 Classifica di rappresentatività per il gruppo 2

Date	Position	Deviation
20/7/2017	Position 0	Deviation: 0%
22/7/2020	Position 1	Deviation: 0.1%

Date	Position	Deviation
15/8/2020	Position 2	Deviation: 0.2%
22/8/2021	Position 3	Deviation: 0.3%
23/7/2020	Position 4	Deviation: 0.3%
21/7/2019	Position 5	Deviation: 0.3%
1 Deviation ≤ 1% . . . . . ↓ Deviation ≥ 95%		
4/8/2017	Positon 248	Deviation: 100%

tab.7 Classifica di rappresentatività per il gruppo 3

Date	Position	Deviation
31/7/2019	Position 0	Deviation: 0%
11/8/2018	Position 1	Deviation: 0.1%
8/7/2019	Position 2	Deviation: 0.4%
6/8/2019	Position 3	Deviation: 0.4%
20/7/2017	Position 4	Deviation: 0.5%
22/7/2017	Position 5	Deviation: 0.5%
4/7/2021	Position 6	Deviation: 0.6%
22/7/2020	Position 7	Deviation: 0.6%
7/7/2019	Position 8	Deviation: 0.7%
21/7/2018	Position 9	Deviation: 0.7%
7/8/2018	Position 10	Deviation: 0.8%
14/8/2020	Position 11	Deviation: 0.8%
21/7/2019	Position 12	Deviation: 1%
1 Deviation ≤ 1% . . . . . ↓ Deviation ≥ 95%		
9/9/2021	Positon 202	Deviation: 100%

tab.8 Classifica di rappresentatività per il gruppo 4

Date	Position	Deviation
12/8/2018	Position 0	Deviation: 0%
9/8/2018	Position 1	Deviation: 0%
6/8/2018	Position 2	Deviation: 0.2%
31/7/2018	Position 3	Deviation: 0.3%
22/7/2017	Position 4	Deviation: 0.3%

Date	Position	Deviation
20/7/2018	Position 5	Deviation: 0.4%
7/8/2018	Position 6	Deviation: 0.4%
8/8/2018	Position 7	Deviation: 0.4%
30/7/2018	Position 8	Deviation: 0.4%
5/8/2018	Position 9	Deviation: 0.4%
31/7/2019	Position 10	Deviation: 0.4%
24/7/2019	Position 11	Deviation: 0.5%
27/8/2017	Position 12	Deviation: 0.5%
19/7/2018	Position 13	Deviation: 0.5%
27/7/2019	Position 14	Deviation: 0.6%
11/8/2018	Position 15	Deviation: 0.6%
21/7/2019	Position 16	Deviation: 0.6%
1 Deviation ≤ 1% . . . . . ↓		Deviation ≥ 95%
4/8/2017	Positon 187	Deviation: 100%

A dimostrazione della qualità del dato del 21 luglio 2019 sono mostrati i grafici che rappresentano gli andamenti delle temperature dell'aria, umidità relativa, velocità e direzione del vento, copertura nuvolosa e indice UTCI (fig. 33 -38). Quest'ultimo mostra andamenti omogenei tra loro validando la possibilità di utilizzare questa data per tutte le analisi ambientali che seguiranno.

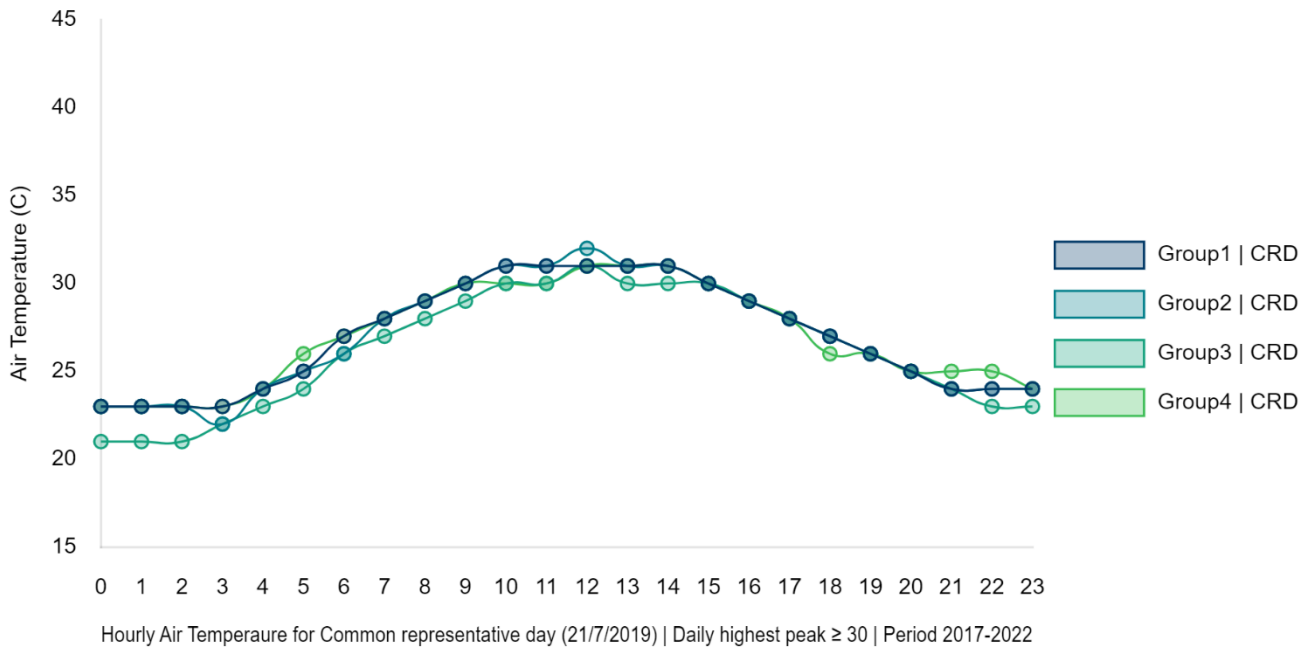


fig.33 Temperatura dell'aria nel giorno rappresentativo comune

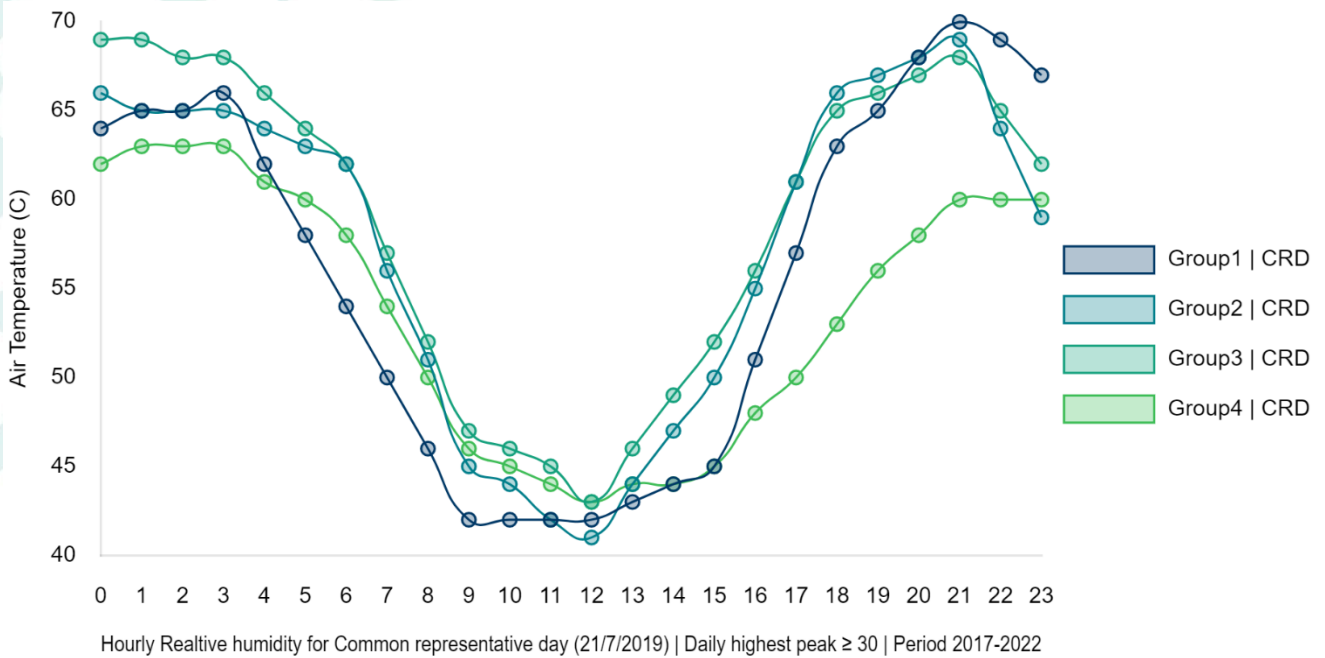


fig.34 Umidità relativa nel giorno rappresentativo comune

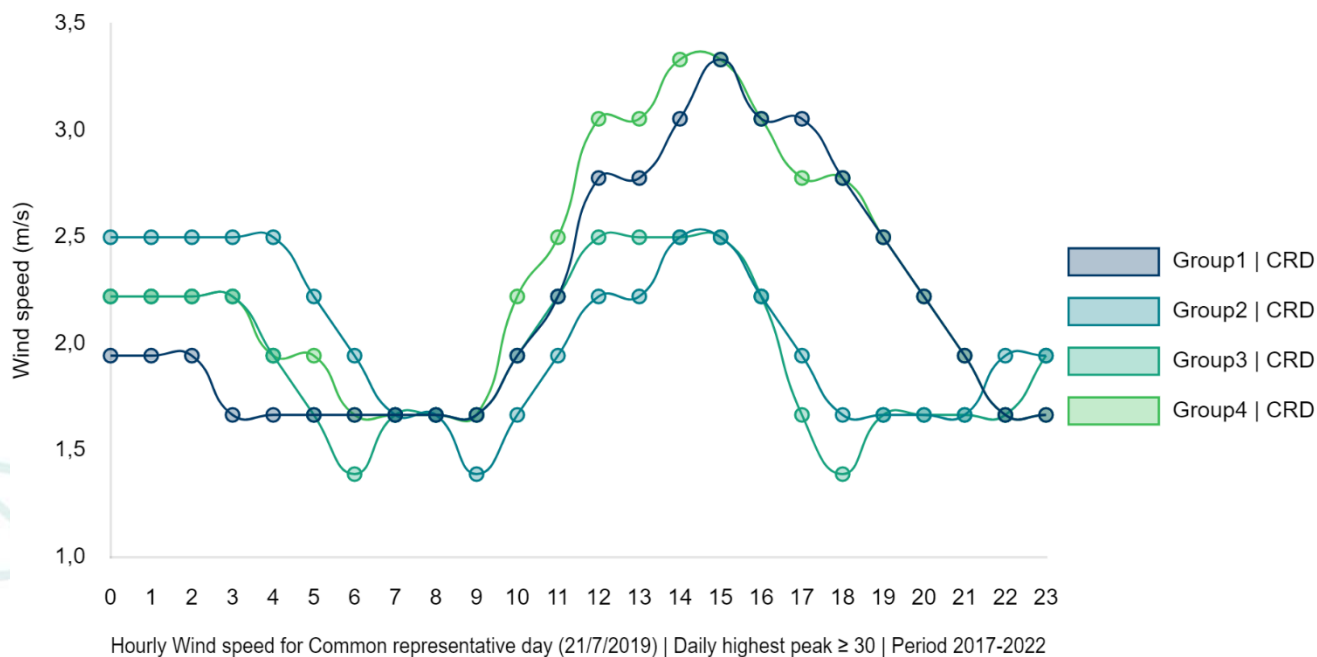


fig.35 Velocità del vento nel giorno rappresentativo comune

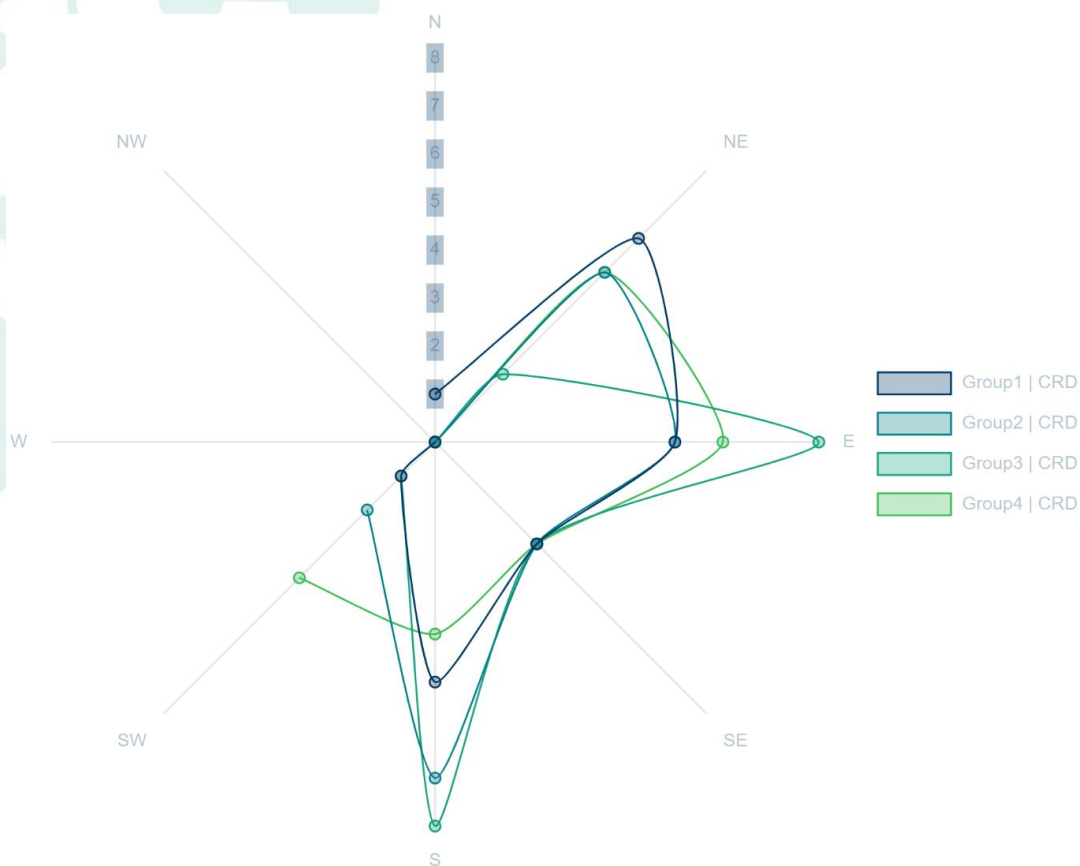


fig.36 Direzione del vento nel giorno rappresentativo comune

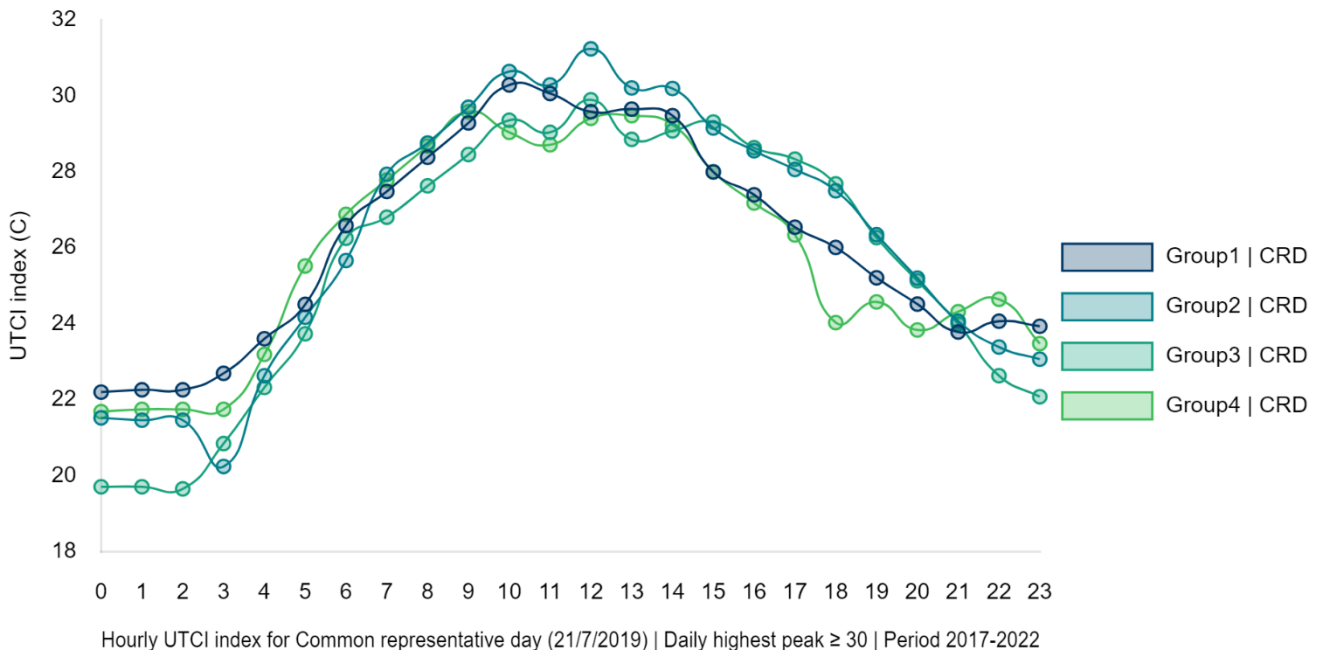
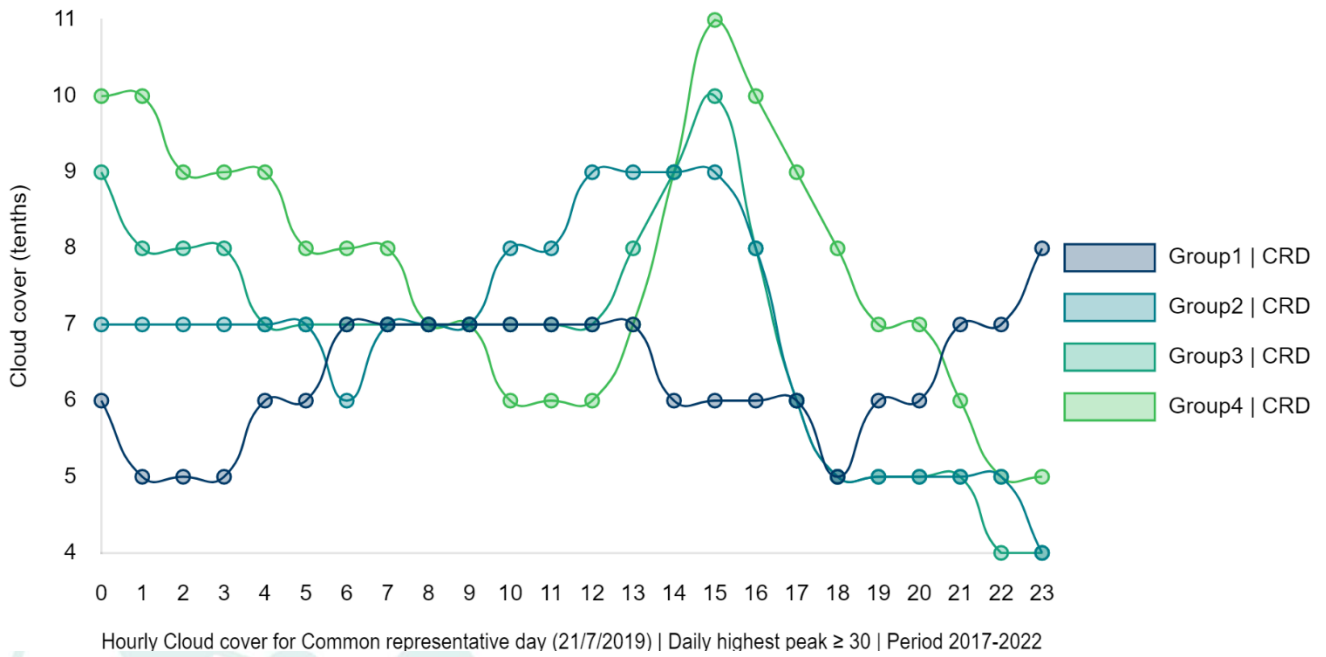


fig.38 Indice UTCI nel giorno rappresentativo comune

## Previsione degli andamenti al 2030 e al 2050

Data l'esigenza di valutazione e pianificazione nel tempo si è ritenuto necessario valutare lo scenario odierno con quello del 2030 e al 2050. Per fare ciò è stato preso in esame l'anno 2019 ovvero l'anno nel quale ricade il giorno rappresentativo comune a tutti i gruppi. La previsione è stata effettuata tenendo in considerazione gli scenari di emissione RCP10 2.6 e 4.5. Questi scenari rappresentano versioni del futuro nei quali sono stati raggiunti, o meno, gli obiettivi che le politiche odierne stanno mettendo in atto per contrastare il cambiamento. Lo scenario più favorevole (RCP 2.6) ipotizza il traguardo dell'abbattimento drastico dei gas effetto serra con un aumento della radiazione solare di 2,6 W/m<sup>2</sup> entro la fine del ventunesimo secolo. Il secondo scenario (RCP 4.5) prevede, altresì, un abbattimento delle emissioni di gas serra, ma con una concentrazione residua elevata che non permetterà di raggiungere l'obiettivo di contenere la temperatura media entro i 2 °C. Ipotizza, inoltre, un aumento della radiazione solare di 4,5 W/m<sup>2</sup>. Per fare ciò, i dati dell'anno 2019 sono stati convogliati in un file EPW il quale è stato poi modificato opportunamente per adattarlo alle condizioni future e confrontarlo con lo scenario presente. Di seguito sono riportati i grafici che mostrano temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento e indice UTCI oggi e negli scenari futuri. L'aumento della temperatura dell'aria varia con una forbice che va dai 2 °C nel 2030 fino ai quasi 4 °C nel 2050. I dati mostrano chiare ripercussioni anche sugli andamenti dell'umidità relativa e dell'indice di comfort UTCI. Quest'ultimo ha valori che salgono oltre la fascia di comfort nei periodi più caldi dell'anno, mentre è visibile come, anche le parti più fredde dell'anno, saranno mitigate modificando i naturali equilibri stagionali.

---

<sup>10</sup> Percorsi Rappresentativi di Concentrazione (Representative Concentration Pathways, RCP),



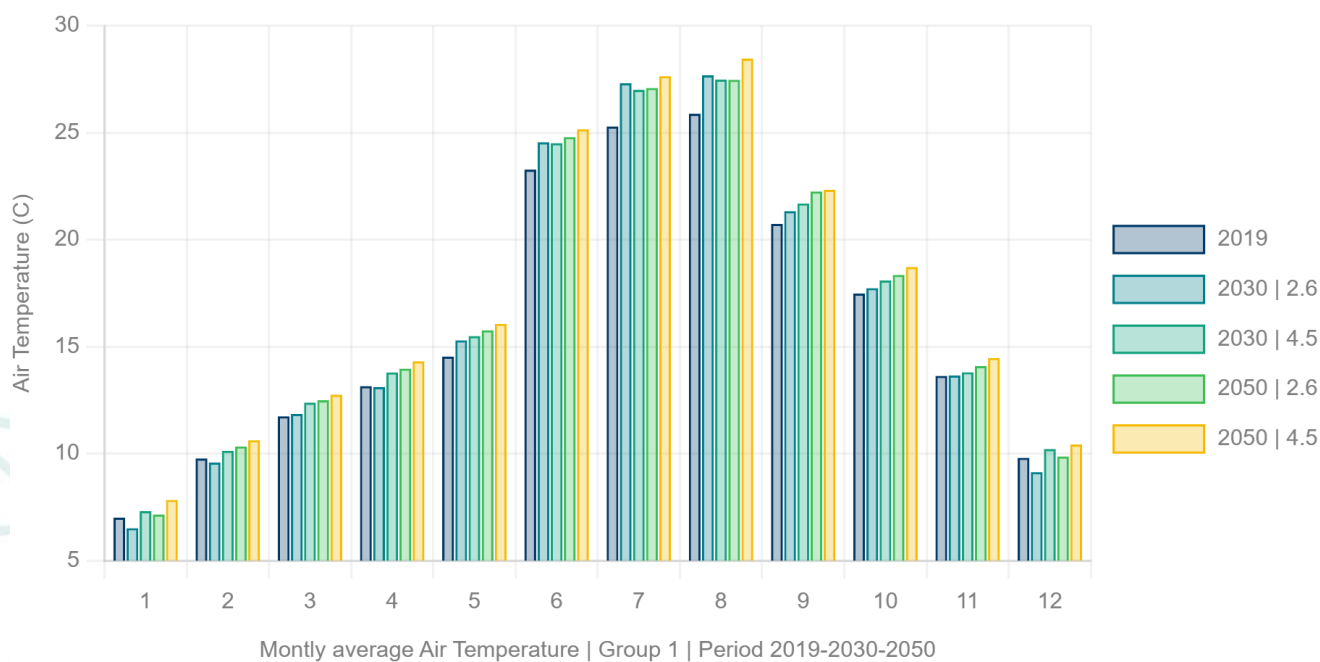


fig.39 Temperature dell'aria - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo1

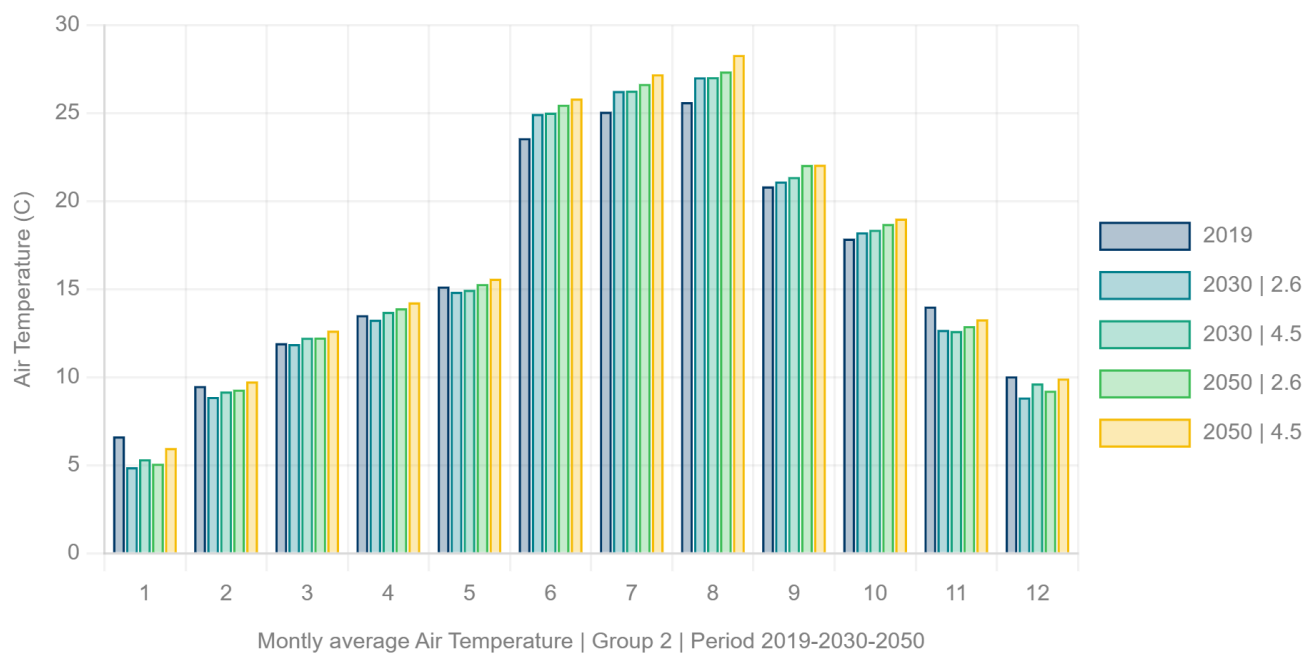


fig.40 Temperature dell'aria - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo2

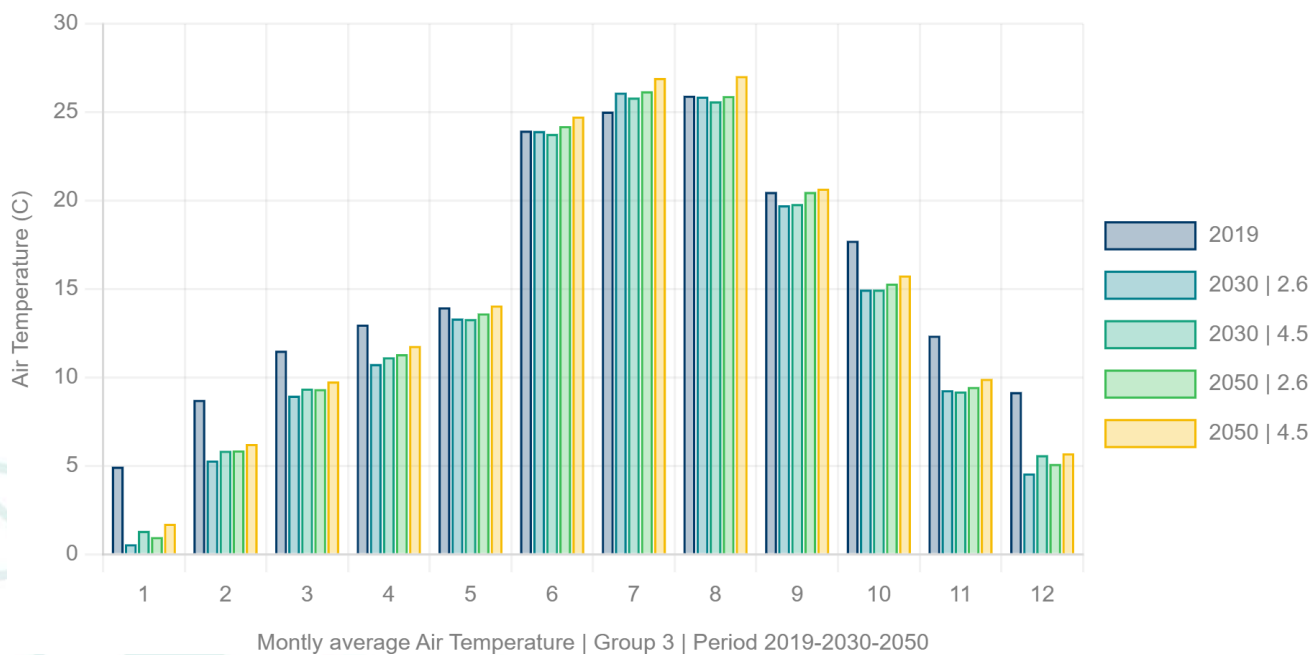


fig.41 Temperature dell'aria - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo3

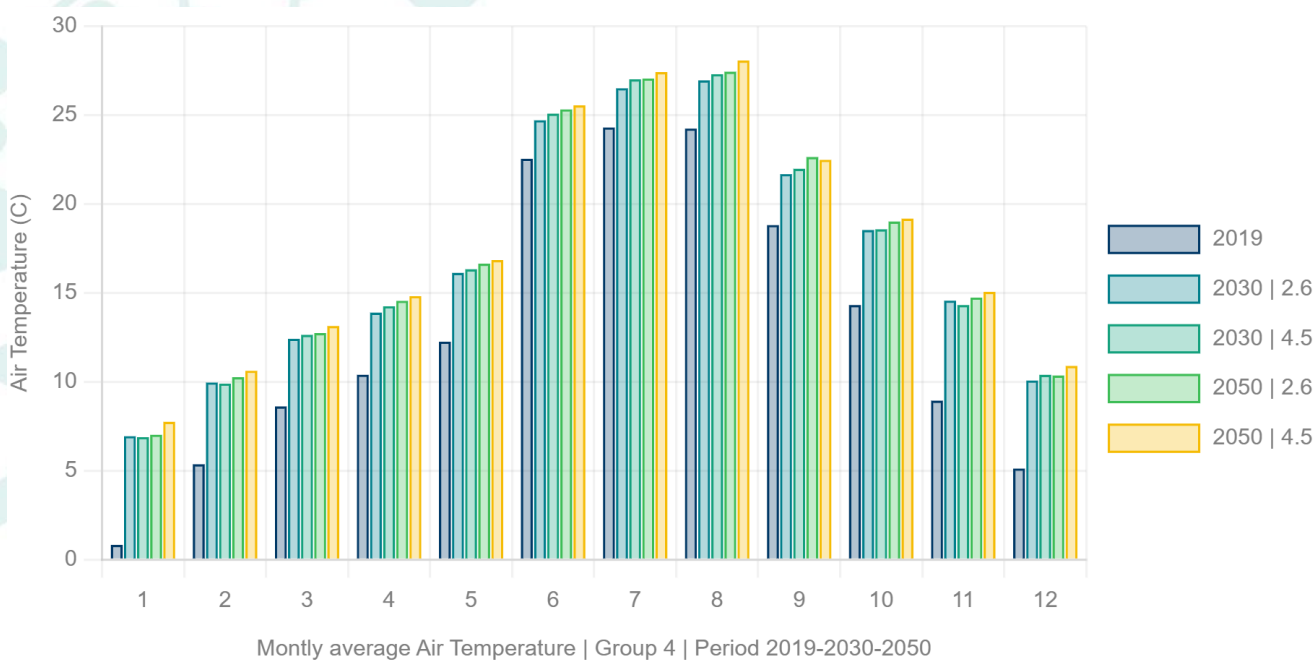


fig.42 Temperature dell'aria - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo4

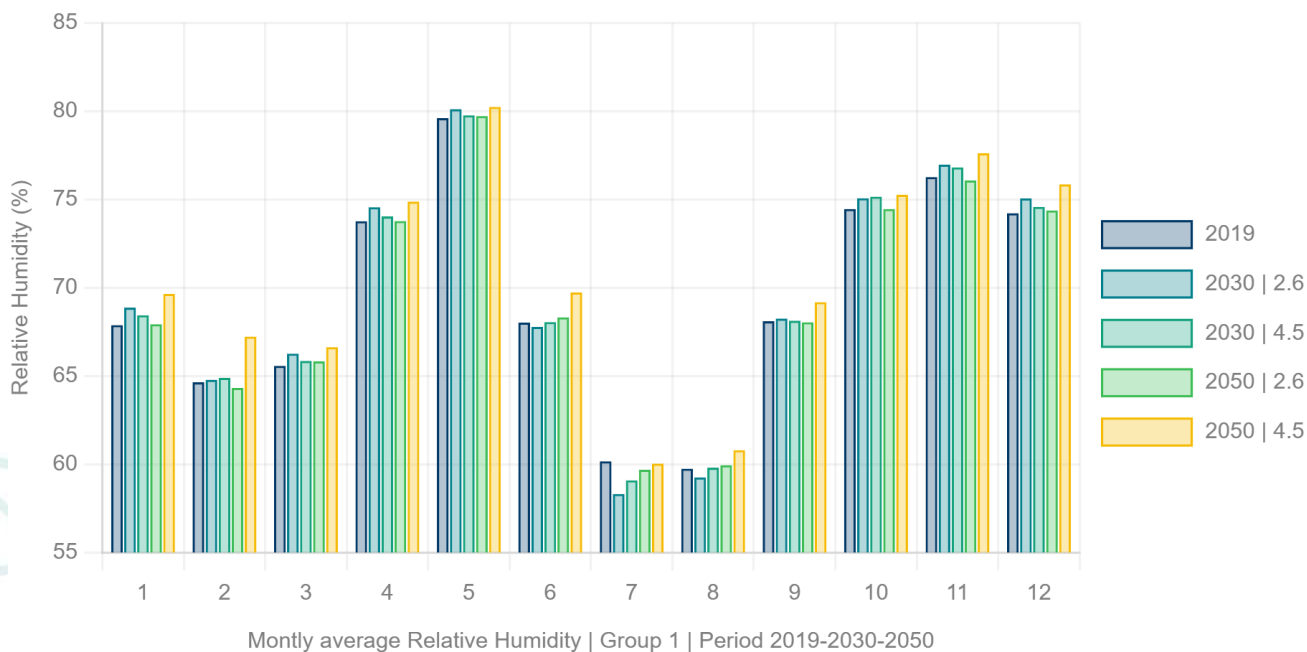


fig.43 Umidità relativa - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo1

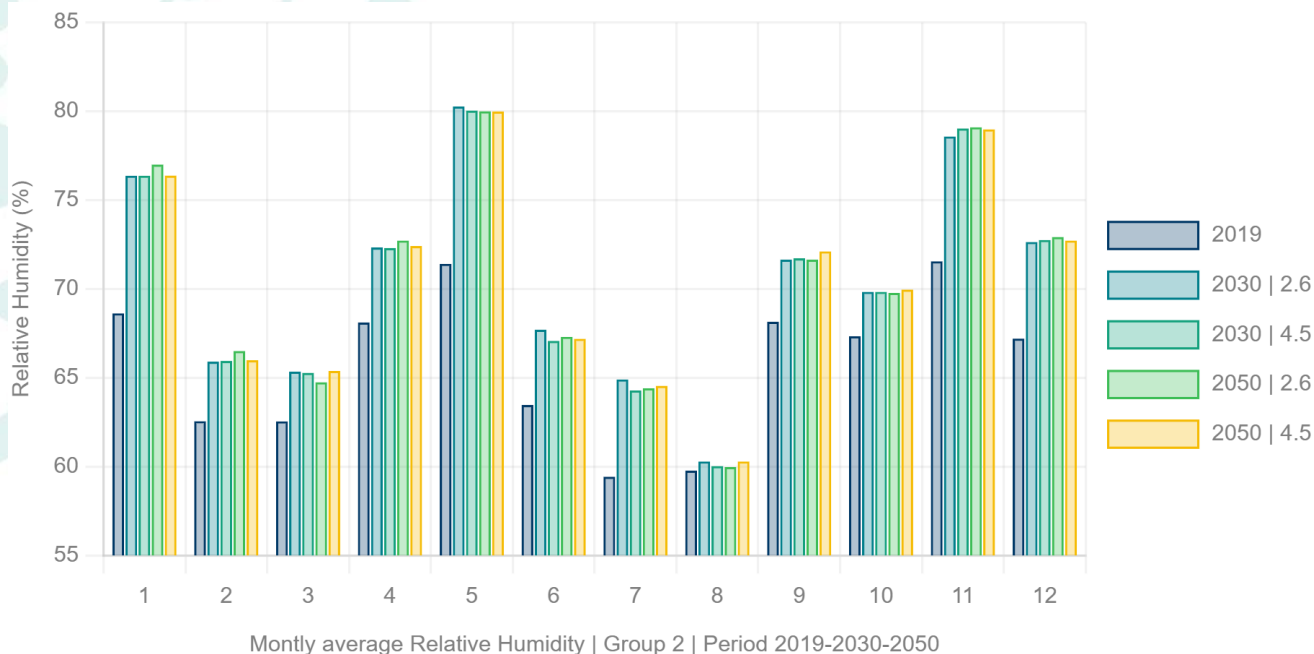


fig.44 Umidità relativa - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo2

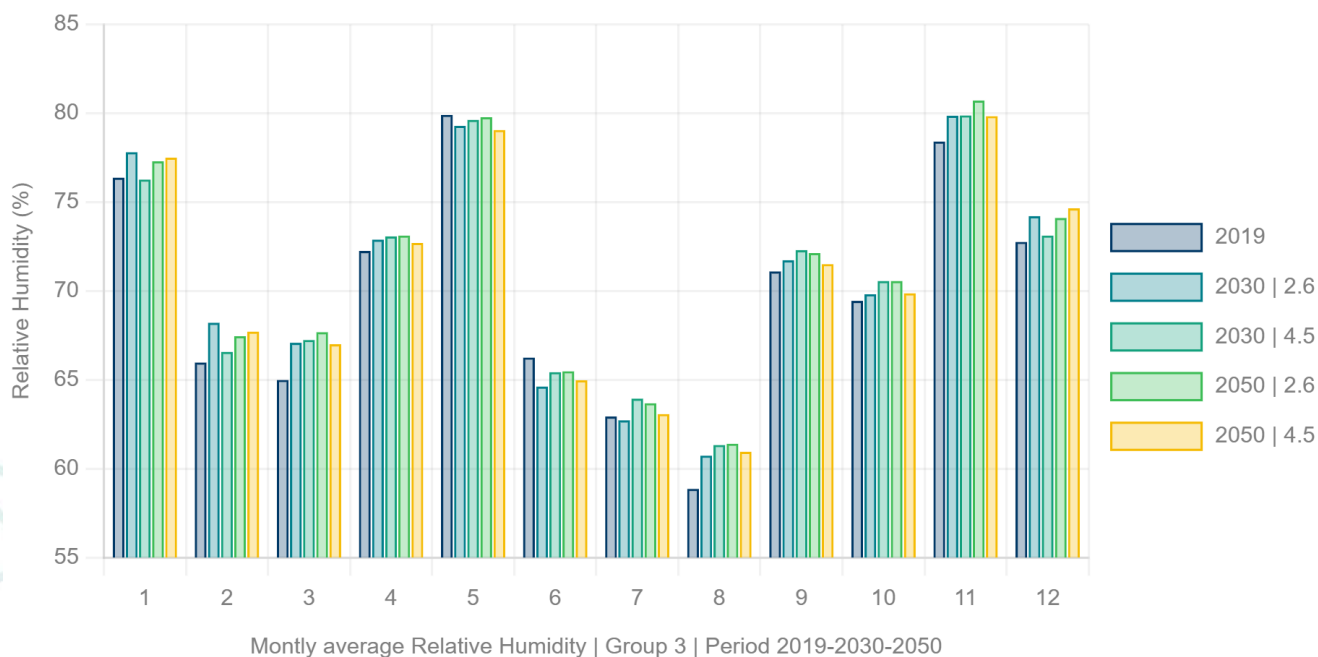


fig.45 Umidità relativa - confronto 2019-2030-2050 - Gruppo3

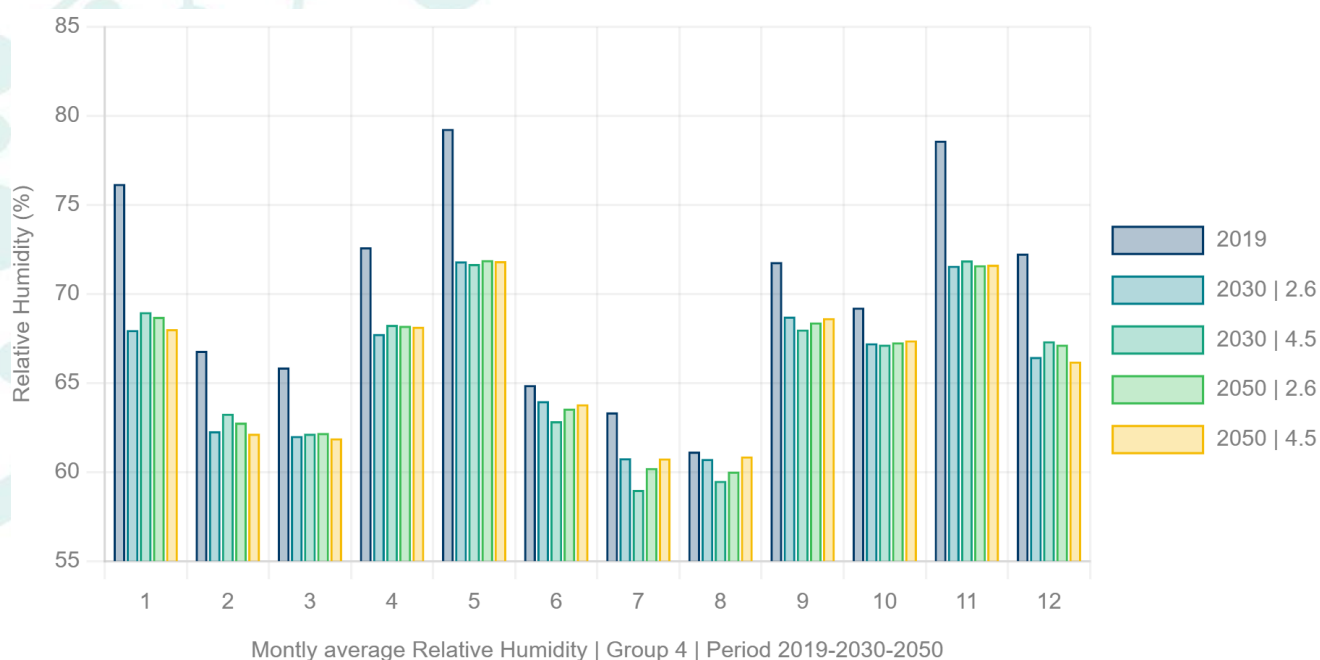


fig.46 Umidità relativa - confronto 2019-2030-2050 - Gruppo4

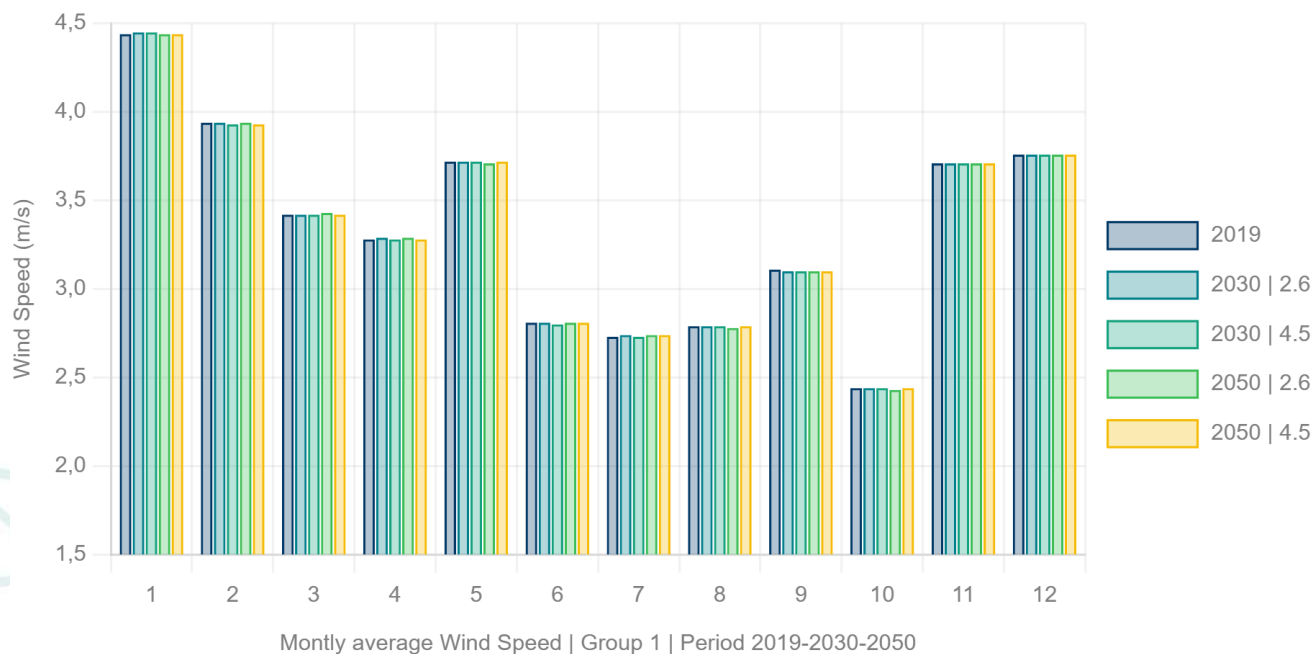


fig.47 Velocità del vento - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo1

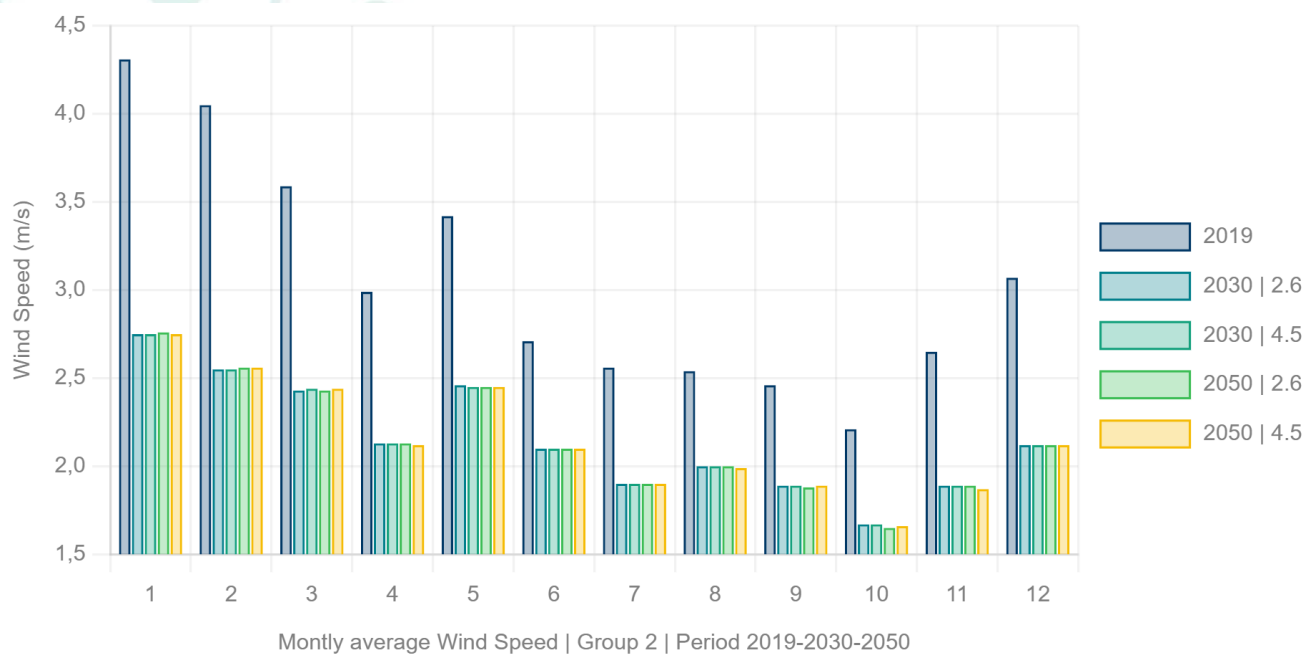


fig.48 Velocità del vento - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo2

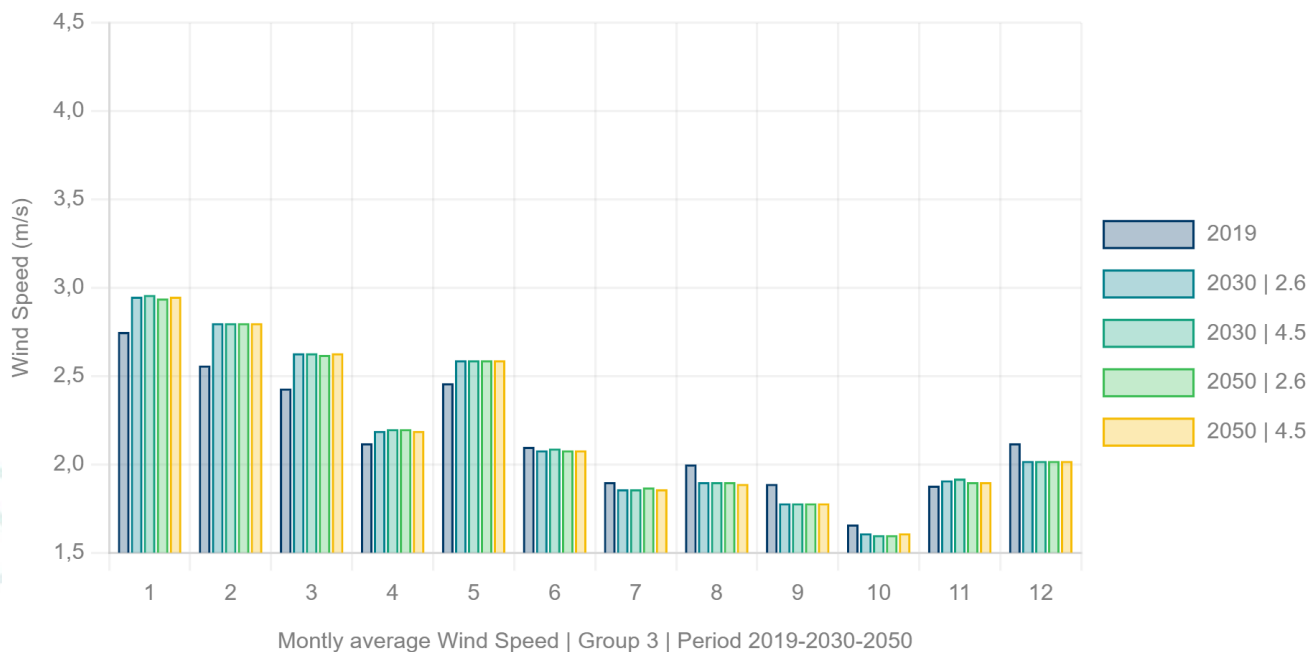


fig.49 Velocità del vento - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo3

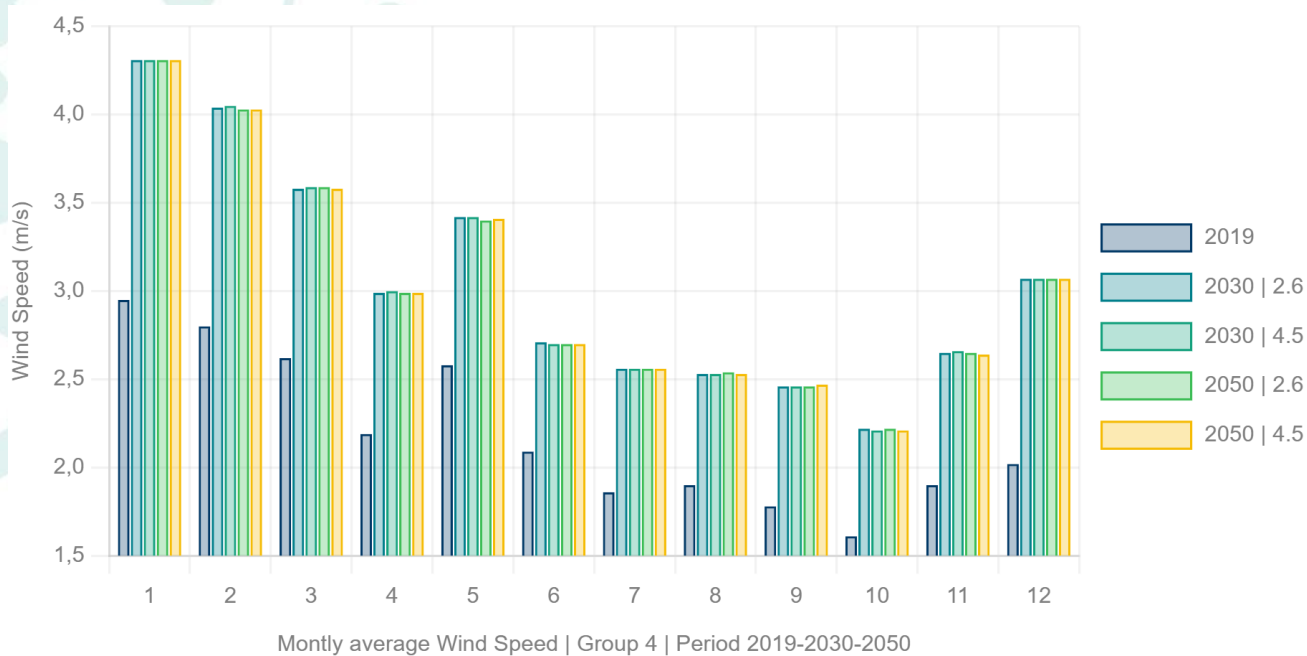


fig.50 Velocità del vento - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo4

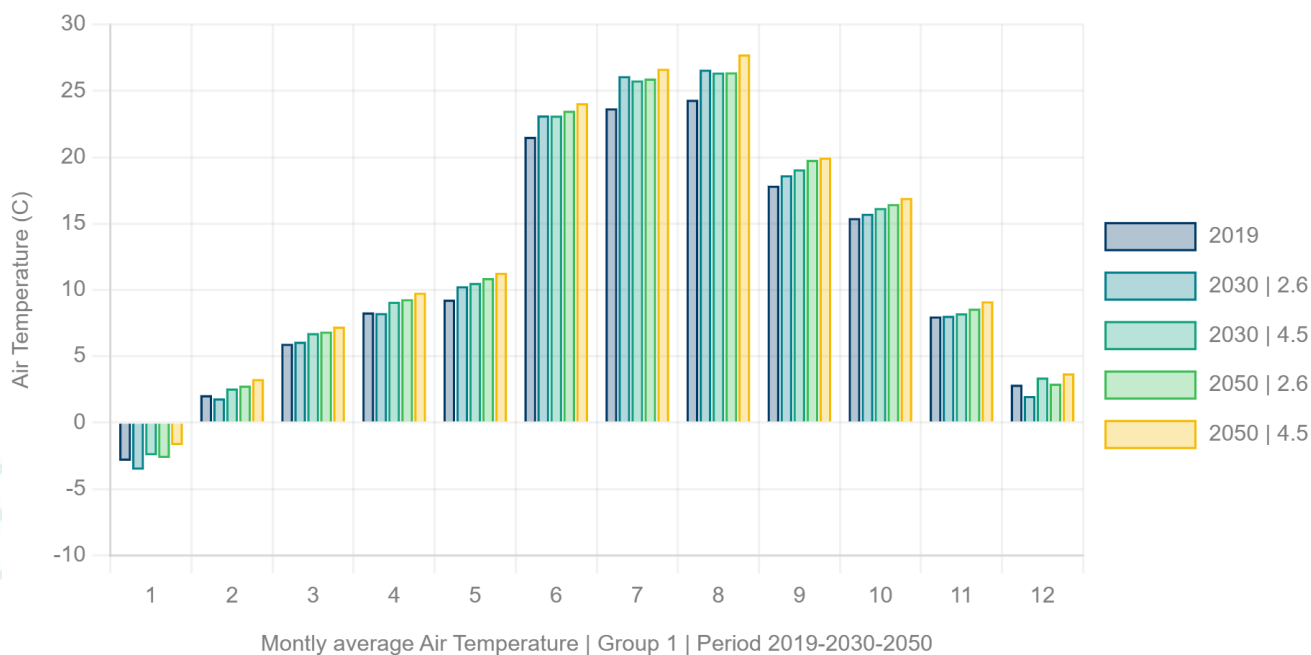


fig.51 Indice UTCI - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo1

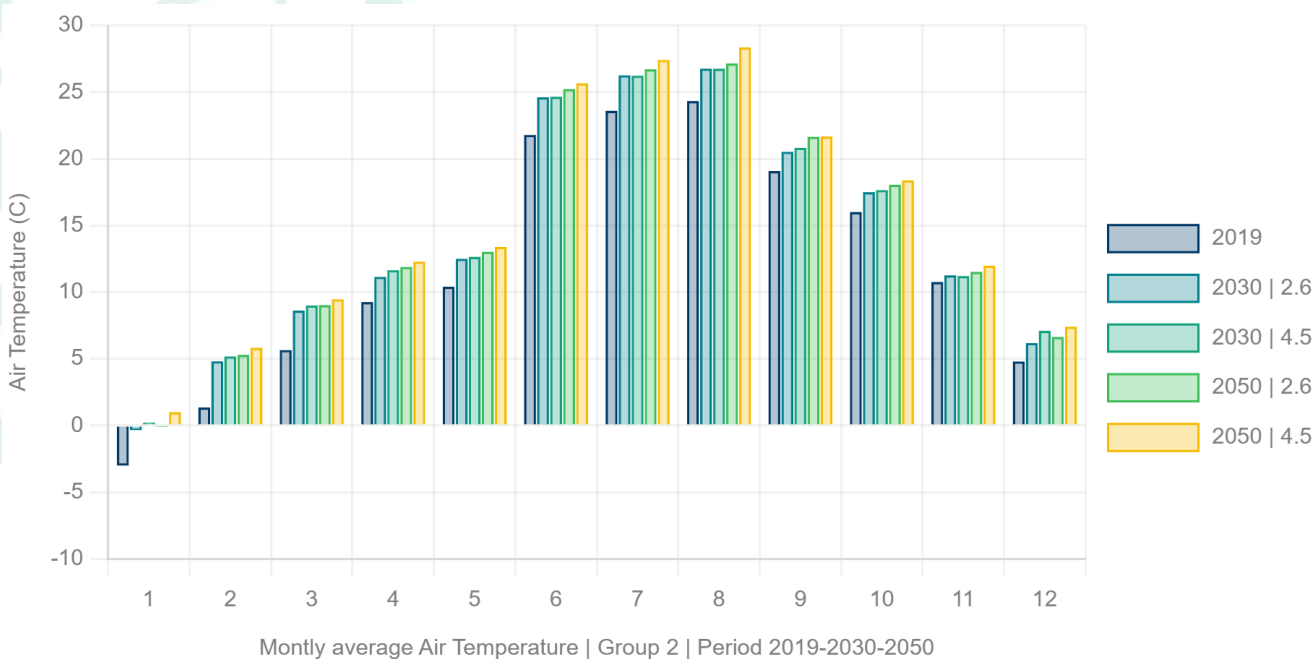


fig.52 Indice UTCI - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo2

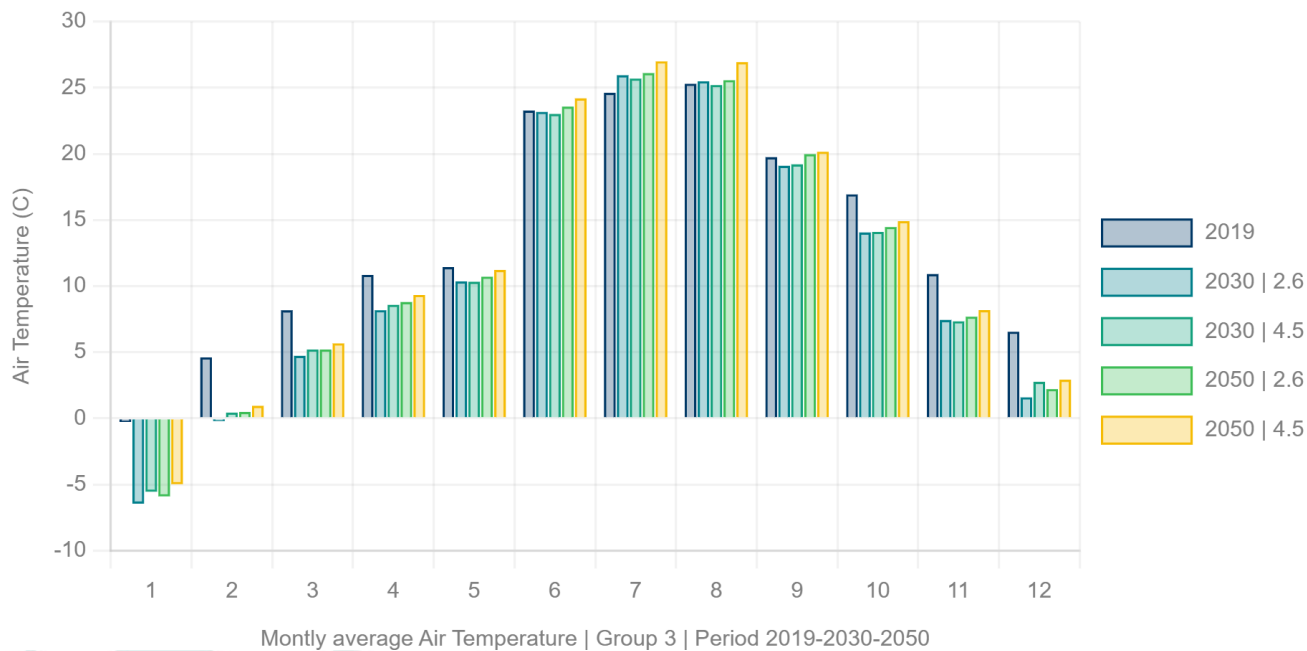


fig.53 Indice UTCI - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo3

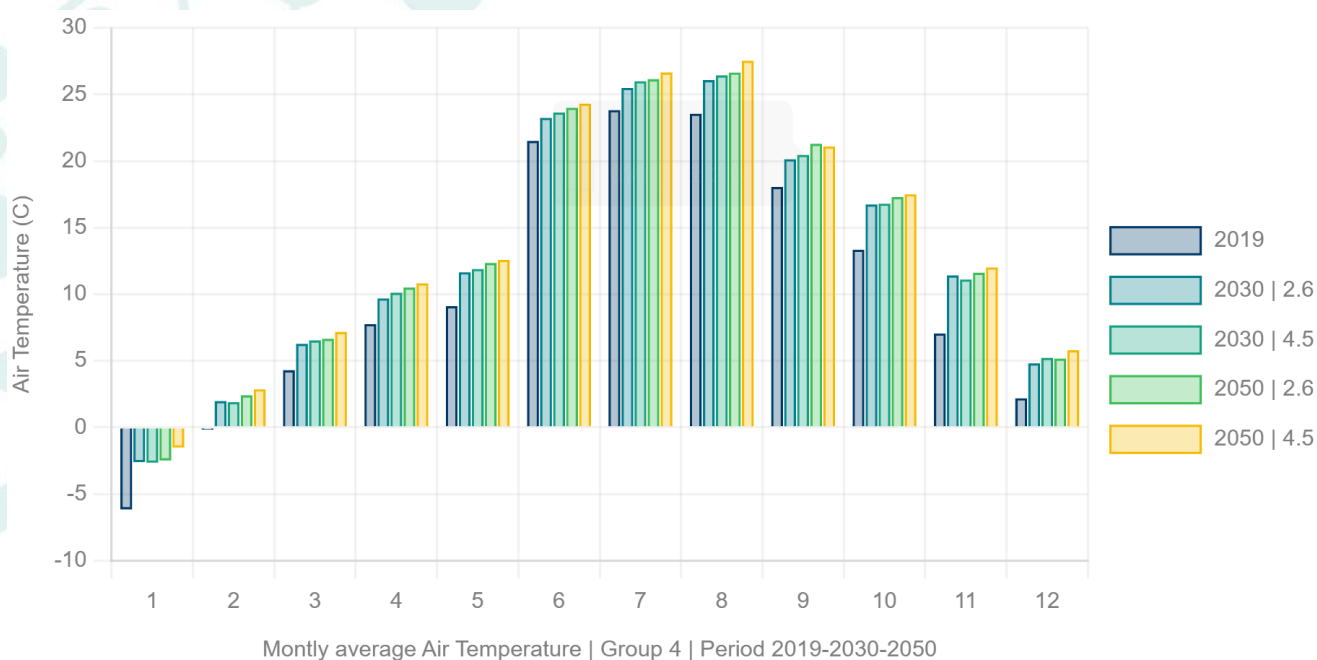


fig.54 Indice UTCI - confronto 2019-2030-2050 – Gruppo4



## Sviluppi futuri della ricerca

In visione della realizzazione della piattaforma online contenente i risultati della ricerca fruibili attraverso l'uso di un portale dedicato sono stati prototipati i modelli grafici contenenti gli esiti della simulazione ENVI<sup>11</sup> (fig. 55). I dati della simulazione sono stati georeferenziati e tradotti in shapefile<sup>12</sup> con appositi strumenti sviluppati con Grasshopper utilizzando i plugin Morpho<sup>13</sup> e schrimpGIS<sup>14</sup> con i quali è possibile rappresentare informazioni nello spazio e nel tempo.

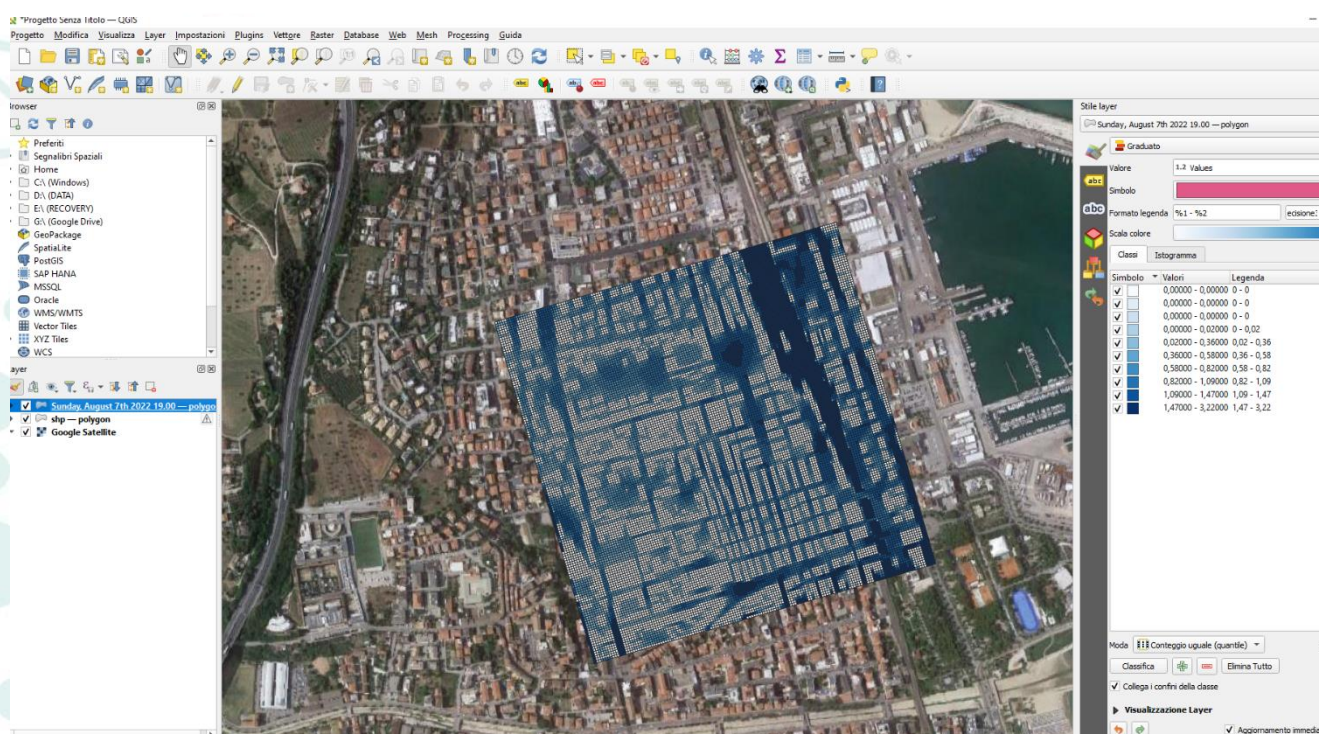


fig.55 Dati ENVI<sup>11</sup> di esempio mostrati all'interno di Qgis in previsione della costruzione della piattaforma online – area di San benedetto del Tronto

<sup>11</sup> ENVI<sup>11</sup> è un potente strumento di simulazione termofluidodinamica a scala urbana <https://www.envi-met.com/it/>

<sup>12</sup> Categoria file contenente informazioni geometriche e semantiche sfruttate in ambito GIS

<sup>13</sup> <https://github.com/AntonelloDN/Morpho>

<sup>14</sup> <https://github.com/AntonelloDN/ShrimpGIS>

## Bibliografia

Anandababu D., Purushothaman B. M., Suresh Babu S., (2018), *Estimation of Land Surface Temperature using LANDSAT 8 Data*, *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, Volume 4; Issue 2: pp. 177-186, ISSN: 2454-132X

Avdan U., Jovanovska G., "Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data", *Journal of Sensors*, vol. 2016, Article ID 1480307, 8 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>

Cook, Monica J., "Atmospheric Compensation for a Landsat Land Surface Temperature Product" (2014). Thesis. Rochester Institute of Technology. Accessed from <http://scholarworks.rit.edu/theses/8513>.

Cook, M., Schott, J.R., Mandel, J., & Raqueno, N. (2014). Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a Land Surface Temperature (LST) Product from the archive. *Remote Sensing*, 6(11), 11244-11266. <http://dx.doi.org/10.3390/rs61111244>.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky, G., 2012. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *Int J Biometeorol* 56, 429–441. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7>

Havenith, G., Fiala, D., Blazejczyk, K., Richards, M., Broede, P., Holmer, I., Rintamaki, H., Benschabat, Y., Jendritzky, G., 2012. The UTCI-clothing model.

Oke T. R., (2006), *Towards better scientific communication in urban climate*, *Theoretical and Applied Climatology*, 84, pp. 179-190, DOI:10.1007/s00704-005-0153-0

Tirabassi, T., Nasseti, S., 1999. The representative day. *Atmospheric Environment* 33, 2427–2434. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00371-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00371-9)

Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>.