



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi integrata di soluzioni tecnologiche per la mitigazione del microclima urbano e il miglioramento del benessere dei cittadini. Un caso studio

G. Battista, R. De Lieto Vollaro, M. Zinzi

ANALISI INTEGRATA DI SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LA MITIGAZIONE DEL MICROCLIMA URBANO E IL MIGLIORAMENTO DEL BENESSERE DEI CITTADINI. UN CASO STUDIO

G. Battista, R. De Lieto Vollaro (Università di Roma Tre)
M. Zinzi (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: c. Controllo e valutazione delle infrastrutture pubbliche energivore

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Analisi integrata di soluzioni tecnologiche per la mitigazione del microclima urbano e il miglioramento del benessere dei cittadini. Un caso studio”*

Responsabile scientifico ENEA: Michele Zinzi

Responsabile scientifico Università degli Studi Roma Tre: Roberto de Lieto Vollaro

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 METODOLOGIA.....	5
3 DEFINIZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO.....	6
4 DEFINIZIONE DELLE TECNICHE DI MITIGAZIONE DA APPLICARE.....	8
5 ANALISI PRELIMINARE DEL SITO IN ESAME E COSTRUZIONE DEL MODELLO NUMERICO	9
5.1 ANALISI SPERIMENTALE	9
5.2 ANALISI NUMERICA	14
6 ANALISI NUMERICA DELL'IMPATTO DELLE TECNICHE DI MITIGAZIONE SUL MICROCLIMA URBANO.....	14
6.1 RISULTATI DELLA CALIBRAZIONE DEL MODELLO NUMERICO	14
6.2 RISULTATI DELL'ANALISI DELLE TECNICHE DI MITIGAZIONE	16
6.2.1 <i>Variazione spaziale della temperatura dell'aria</i>	17
6.2.2 <i>Variazione temporale della temperatura dell'aria</i>	22
7 CONCLUSIONI	24
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	25
9 APPENDICE	27

Sommario

I cambiamenti climatici e l'urbanizzazione stanno radicalmente incrementando la diffusione del fenomeno dell'isola di calore negli ambienti urbani. L'isola di calore è definita come l'aumento della temperatura dell'aria nelle zone densamente urbanizzate rispetto alle aree rurali limitrofe alla città.

Questo studio presenta i risultati dell'analisi di diverse soluzioni tecnologiche per la mitigazione del microclima urbano e il miglioramento del benessere dei cittadini in un caso studio della città di Roma e più precisamente in Piazza dei Mirti in zona Centocelle. Tale zona è stata scelta in quanto è caratterizzata da un'alta densità di edifici, da una bassa presenza di verde e dall'assenza di fontane d'acqua, che ne fanno una zona urbana ad elevato stress termico. Inoltre, l'elevata densità abitativa consente di coinvolgere un maggior numero di cittadini ai benefici dovuti dalle possibili tecniche di mitigazione scelte per la piazza.

In tale studio è stato implementato un modello numerico tramite il software ENVI-met di modo da valutare i benefici termici dovuti all'utilizzo di tecniche di mitigazione per l'abbassamento della temperatura dell'aria nella piazza e il conseguente miglioramento delle condizioni di comfort urbano della zona. Tra le tecniche possibili sono stati valutati gli effetti dell'implementazione della vegetazione urbana, dell'utilizzo di materiali *cool* per la pavimentazione stradale, dell'utilizzo di una tettoia che sia in grado di ombreggiare la parte centrale della piazza e dell'installazione di specchi d'acqua.

I dati di temperatura e umidità relativa acquisiti da centraline termo-igrometriche posizionate nella zona sono stati inseriti nel modello numerico sviluppato in ENVI-met per consentire la calibrazione dello stesso.

Le analisi numeriche eseguite hanno permesso di valutare gli effetti benefici dell'utilizzo delle differenti tecniche di mitigazione prese singolarmente e congiuntamente. Le tecniche di mitigazione proposte che hanno un maggiore effetto durante l'intera giornata di simulazione sono l'installazione della tettoia, lo specchio d'acqua, il materiale *cool* con riflettanza di 0,3 e l'utilizzo di alberi più maturi e in maggior numero.

PAROLE CHIAVE: Isola di Calore; ENVI-met; Calibrazione; Misure Termo-Igrometriche; Tecniche di Mitigazione.

1 Introduzione

I cambiamenti climatici e il *global warming* sono fenomeni scientificamente dimostrati da osservazioni sperimentali e modelli climatici numerici [1]. In particolare, il *global warming* è un fenomeno presente ad ogni latitudine del pianeta, sebbene con intensità e modalità diverse. Un'area fortemente interessata da questo fenomeno è l'area mediterranea, per la quale diversi studi scientifici hanno stimato un incremento delle temperature medie di 2 °C nel corso delle prossime due decadi, alle quali si assoceranno fenomeni di ondata di calore più frequenti e prolungate [2].

L'area mediterranea sta subendo un processo di urbanizzazione che prosegue incessantemente: più di 300 milioni di abitanti vivono in aree urbane, secondo una stima datata 2010 con un trend in deciso aumento dagli anni '70 ad oggi [3].

L'effetto combinato del *global warming* e dell'urbanizzazione è la causa della formazione dell'effetto isola di calore urbana UHI (*Urban Heat Island*), che è definito come l'incremento della temperatura dell'aria nelle aree densamente urbanizzate calcolato a partire dalla temperatura dell'aria nelle zone rurali adiacenti alla città [4]. Questo parametro, definito come UHI (*Urban Heat Island Intensity*) può essere riferito a valori istantanei o a medie riferite a differenti periodi (dall'orario allo stagionale).

Il fenomeno dell'isola di calore è stato osservato sin dal diciannovesimo secolo [5], ma viene intensamente studiato e monitorato solo da poche decine di anni [6-9]. Molti studi infatti sono ora disponibili, e dimostrano come l'UHI sia presente ad ogni latitudine. I principali fattori che ne determinano l'intensità sono la riduzione delle aree verdi permeabili (diminuzione del calore latente di vaporizzazione dell'acqua immagazzinata nel sottosuolo a discapito di quello sensibile), la diminuzione dell'intensità degli scambi termici radiativi a causa dei "canyon" urbani, l'incremento dell'accumulo termico negli edifici, le fonti termiche antropogeniche (scarichi degli impianti di climatizzazione degli edifici e dei mezzi di trasporto) e l'aumento dell'assorbimento solare da parte delle superfici dei materiali da costruzione.

Lo studio di Kolokotroni et al. Nel 2006 indica come il fenomeno dell'isola di calore urbano sia causato da variazioni microclimatiche dovute all'intervento "umano" e alla modifica dell'ambiente naturale [10].

Inoltre, l'UHI ha effetti sulla salute umana [11,12] e sulle prestazioni energetiche degli edifici [13-15] a causa della variazione delle condizioni termo-fluidodinamiche delle masse d'aria all'interno delle aree urbane [16-18]. Negli ultimi anni sono aumentati gli studi volti a valutare l'impatto delle tecniche di mitigazione del fenomeno dell'isola di calore sul consumo energetico degli edifici, come i tetti verdi [19,20] e i *cool material* [21-24]. Questi ultimi sono materiali caratterizzati da un'elevata riflettanza solare che consente di avere temperature superficiali sensibilmente inferiori a quelle di materiali tradizionali; inoltre, l'elevata emissività di questi materiali consente di emettere e dissipare il calore accumulato durante le ore di soleggiamento solare, nelle ore notturne. Uno studio di Carnielo del 2014 dimostra come l'aumento della riflettanza delle pavimentazioni stradali abbia effetti sull'ambiente urbano, riducendo le temperature dell'aria e portando di conseguenza a diminuire il consumo di energia elettrica per la climatizzazione estiva degli edifici [25]. L'utilizzo di *cool material* e l'implementazione di aree verdi urbane contribuiscono a una sensibile riduzione del fenomeno dell'isola di calore [26]. Considerando che nell'Unione Europea circa il 40% del consumo totale di energia finale è attribuito al settore civile, la necessità di elaborare nuove strategie di mitigazione dell'isola di calore urbana tramite l'utilizzo di tecniche passive, consente un notevole risparmio energetico negli edifici e un miglioramento delle condizioni di comfort urbano soprattutto nelle stagioni estive.

2 Metodologia

Il progetto "Analisi integrata di soluzioni tecnologiche per la mitigazione del microclima urbano e il miglioramento del benessere dei cittadini. Un caso studio" è volto allo studio della mitigazione e della riqualificazione termo-igrometrica di aree urbane ad elevato stress termico ed è basato su diverse soluzioni tecnologiche. La ricerca riguarda un caso studio da condurre in un'area urbana della città di Roma, nella

quale saranno analizzate diverse tecniche di mitigazione in termini di riduzione della temperatura dell'aria e miglioramento del comfort termico in specifici periodi temporali.

Le attività del progetto sono state suddivise in questo modo:

1. **Definizione dell'area d'intervento:** la prima fase consiste nell'individuazione di una piazza di Roma caratterizzata da un'alta densità di edifici, da una bassa presenza di verde e dall'assenza di fontane d'acqua, al fine di monitorare una zona urbana ad elevato stress termico. Tale piazza sarà un luogo fortemente fruibile dalla comunità locale, in modo da coinvolgere il maggior numero di utenti negli effetti benefici degli interventi di mitigazione scelti.
2. **Definizione delle tecniche di mitigazione da applicare:** la seconda fase consiste nell'individuazione delle possibili tecniche di mitigazione delle condizioni termiche della piazza.
3. **Analisi preliminare del sito in esame e la costruzione del modello numerico:** la terza fase consiste nell'individuare le principali caratteristiche geometriche e di vegetazione urbana al fine di sviluppare un modello numerico realizzato con il software ENVI-met. Tale analisi sarà accompagnata da una campagna di misura sperimentale atta a rilevare la temperatura e l'umidità relativa dell'aria nella zona di interesse, nonché le proprietà riflettenti dei materiali costituenti la pavimentazione stradale. Tali misure confermeranno l'elevato stress termico della zona di interesse identificata nella prima fase, e verranno utilizzate per calibrare il modello numerico realizzato con il software ENVI-met.
4. **Analisi numerica dell'impatto delle tecniche di mitigazione sul microclima urbano:** l'ultima fase ha riguardato un'analisi comparativa degli effetti dei diversi metodi di mitigazione scelti ed individuati nella prima fase. Tale analisi consentirà di individuare le tecniche di mitigazione più adatte al fine di ridurre lo stress termico della zona scelta come caso studio.

3 Definizione dell'area d'intervento

La definizione dell'area d'intervento è consistita nell'individuazione di una piazza di Roma che sia caratterizzata da un'alta densità di edifici, da una bassa presenza di verde e dall'assenza di fontane d'acqua, caratteristiche che consentono di ottenere una zona urbana ad elevato stress termico. Inoltre, al fine di coinvolgere un maggior numero di cittadini che possano beneficiare delle possibili tecniche di mitigazione delle condizioni termiche della piazza, tale luogo dovrà avere un'elevata densità urbana.

La zona urbana di Roma corrispondente ai requisiti precedentemente menzionati è Piazza dei Mirti posta nella zona di Centocelle. Nella Figura 1 è riportata un'immagine Google Earth dell'area urbana di interesse, dove vengono segnalati con i punti gialli i luoghi dove sono state posizionate delle centraline per la misura della temperatura e dell'umidità relativa.

I punti di misura scelti sono utili per l'analisi delle condizioni termo-igrometriche all'ingresso della piazza (punto R), all'interno della piazza (punto M) e in un parco posizionato a debita distanza dalla zona di interesse (punto P).

I punti di misura R e M sono necessari per la calibrazione del modello numerico che verrà descritto nel successivo capitolo. Il punto P può essere considerato come riferimento delle condizioni termo-igrometriche della zona, in quanto si trova all'interno di un parco e lontano dalle strade maggiormente trafficate dell'area.

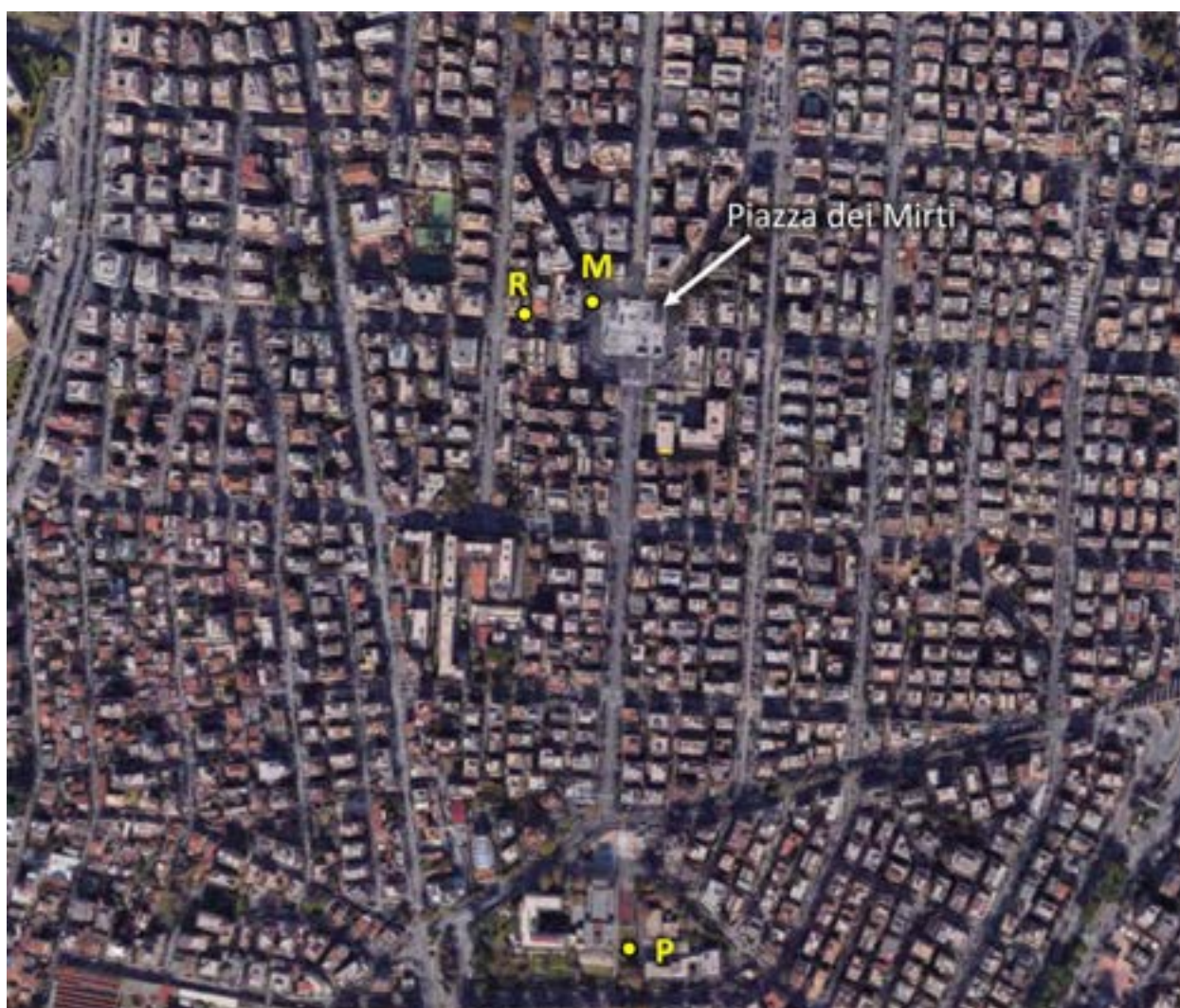


Figura 1. Visualizzazione della Piazza dei Mirti di Roma e indicazione dei punti di misura della temperatura e umidità relativa.



Figura 2: Temperatura dell'aria nell'area urbana di interesse.

La zona oggetto di tale studio è sottoposta ad un elevato stress termico dovuto soprattutto alle caratteristiche costruttive della Piazza. Come si evince dall'analisi fotografica riportata in Figura 2, la piazza è prevalentemente costituita da ampie zone asfaltate utilizzate nella pavimentazione stradale e nei marciapiedi. Inoltre sono presenti delle costruzioni cementizie come quelle per l'ingresso nella metro "Mirti". Nella piazza la vegetazione è poco presente. Nella configurazione attuale sono presenti piccoli cespugli e pochi alberi molto giovani, che non consentono un adeguato ombreggiamento dell'intera area. Inoltre, non sono presenti fontane in grado di mitigare la temperatura dell'aria.

4 Definizione delle tecniche di mitigazione da applicare

Dalle considerazioni fatte nel paragrafo precedente, verranno simulate i benefici dell'utilizzo di tecniche di mitigazione per l'abbassamento della temperatura dell'aria nella piazza e il conseguente miglioramento delle condizioni di comfort urbano della zona. Tra le tecniche possibili verranno valutati gli effetti dell'implementazione della vegetazione urbana, dell'utilizzo di materiali *cool* per la pavimentazione stradale, dell'utilizzo di una tettoia che sia in grado di ombreggiare la parte centrale della piazza e dell'installazione di specchi d'acqua.

Per quanto concerne l'utilizzo di materiali *cool*, si è ipotizzato di utilizzare una riflettanza della pavimentazione stradale di 0,15 e 0,30 di modo da coprire una vasta gamma di materiali e valutarne l'effetto di mitigazione di tale tecnica.

L'implementazione della vegetazione urbana ha consistito nell'utilizzo di un prato o di alberature differenti rispetto a quelle attualmente presenti nell'area pedonale della piazza. Se per il prato si è ipotizzato di posizionarlo nella parte centrale della piazza, discorso differente deve essere fatto per le alberature che consentono di individuare diversi scenari possibili.

Dalle immagini fotografiche di Figura 2 e a valle dei sopralluoghi nella piazza, gli 8 alberi utilizzati nella parte centrale sono del tipo *Tilia*. L'altezza di tale alberi è mediamente di 4 metri e considerando lo scenario proposto dallo studio di Picot nel 2004 [27], si può ipotizzare che tali alberi abbiano un'età di circa 8 anni. In Figura 3 è riportato l'andamento di crescita degli alberi in base ai dati ricavati dallo studio di Picot.

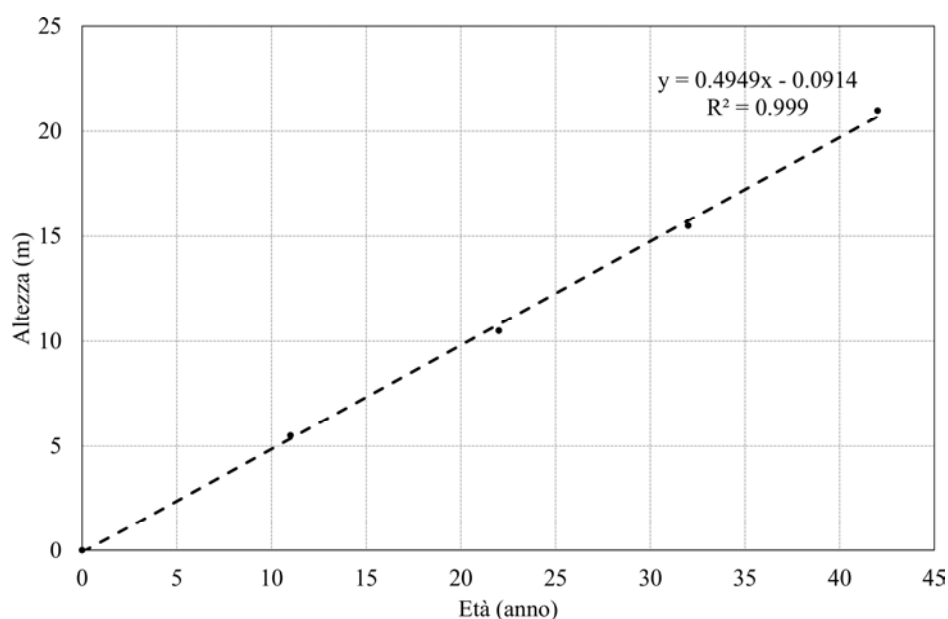


Figura 3: Andamento della crescita annuale degli alberi di tipo *Tilia*.

Nel presente studio sono stati utilizzati all'interno della piazza tre tipologie di alberi: l'albero di tipo T3 che rappresenta l'attuale tipologia di albero presente nella piazza e corrisponde ad un *Tilia* di altezza di 4 metri con un'età di 8,27 anni; l'albero di tipo T2 che corrisponde ad un *Tilia* di altezza di 6 metri con un'età di 12,31 anni; e l'albero di tipo T1 che corrisponde ad un *Tilia* di altezza di 10 metri con un'età di 20,39 anni

Per ogni tipologia di albero è stato necessario valutare il "Leaf Area Density" (LAD) in funzione dell'altezza di ognuno di essi. La relazione che consente di calcolare il LAD è quella formulata da Lalic e Mihalovic nel 2004 [28] che consente di ottenere buoni risultati se comparati a misure dirette del suddetto parametro:

$$LAD(z) = LAD_m \left(\frac{z_p - z_m}{z_p - z} \right)^n \exp \left[n \left(1 - \frac{z_p - z_m}{z_p - z} \right) \right] \quad (1)$$

dove LAD_m è il massimo valore di LAD alla quota z_m , z_p è l'altezza dell'albero, z è la quota alla quale si vuole calcolare il $LAD(z)$, e n è una costante che vale 6 se la quota z è compresa fra 0 e z_m , e vale 0,5 se la quota z è compresa fra z_m e z_p .

Una volta determinato il LAD, il parametro che viene utilizzato per caratterizzare l'albero è il *Leaf Area Index* (LAI) che è definito dalla seguente formula:

$$LAI = \int_0^{z_p} LAD(z) dz \quad (2)$$

Nel caso in esame si hanno dei LAI di 3,7, 5,6 e 9,4 rispettivamente per l'albero T3, T2 e T1. Tali valori risultano essere congrui se confrontati con quelli misurati da Breuer nel 2003 [29].

5 Analisi preliminare del sito in esame e costruzione del modello numerico

5.1 Analisi sperimentale

I dati di temperatura a bulbo secco e umidità relativa sono stati ottenuti mediante centraline composte da sensore termo-igrometrico e scheda di acquisizione alloggiata in un contenitore impermeabile modello DECAGON EM 50 - lo strumento è riportato in Figura 4. Il passo di acquisizione dei dati è stato impostato a 10 minuti.



Figura 4: Termo-Igrometro (sinistra) e scheda di acquisizione.

Le misure con i termo-igrometri sono state eseguite dal 27 Luglio 2017 al 3 Agosto 2017 e sono mostrate in Figura 5 e 6. Dai grafici si può notare come la temperatura dell'aria ha subito un incremento giorno dopo giorno per via dell'ondata di calore nazionale registrata in quei giorni. La temperatura ha avuto un picco nell'ultimo giorno di misura (3 Agosto 2017) raggiungendo temperature superiori a 40°C in tutti i punti di misura (R, M e P). D'altra parte i valori dell'umidità relativa nello stesso giorno registrano un massimo di circa il 50% e un minimo di circa il 20%.

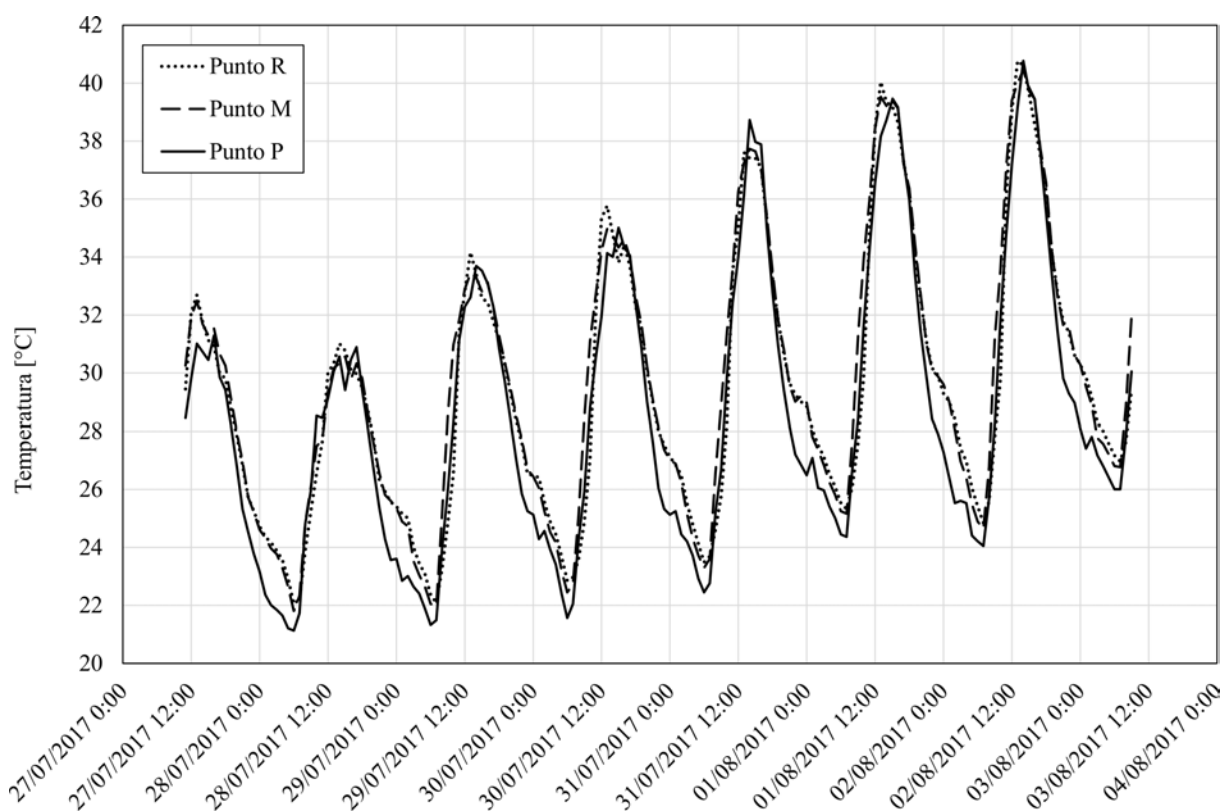


Figura 5: Andamento della temperatura dell'aria misurata con le centraline DECAGON EM 50 nei punti R, M e P relativi alla Figura 1.

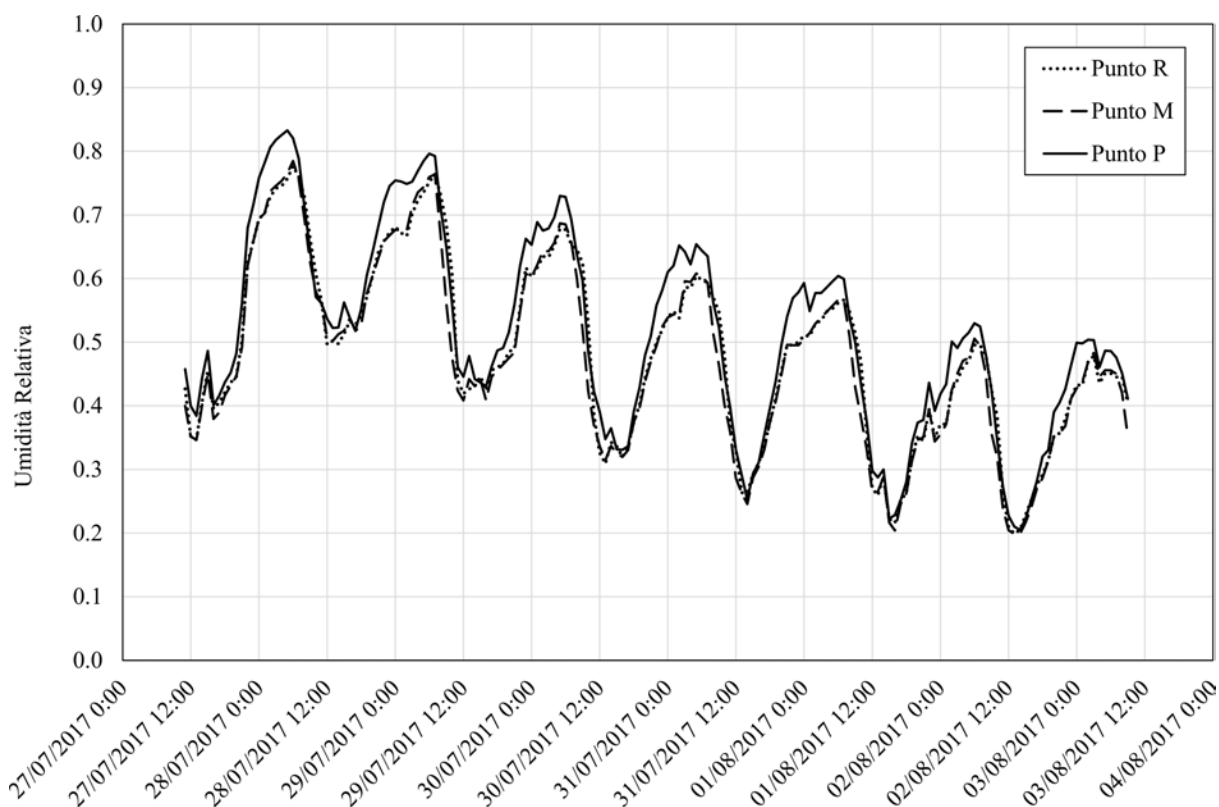


Figura 6: Andamento dell'umidità relativa dell'aria misurata con le centraline DECAGON EM 50 nei punti R, M e P relativi alla Figura 1.

Al fine di caratterizzare correttamente le proprietà termiche della zona, sono state eseguite delle misure dell'albedo delle superfici pavimentate della Piazza nel giorno 31/07/2017. L'albedo delle superfici asfaltate è stato misurato tramite un albedometro (Figura 7) ed i valori sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1: Misura dell'albedo in varie zone della Piazza dei Mirti.

	Marciapiede 1	Marciapiede 2	Pavimentazione Piazza 1	Pavimentazione Piazza 2	Pavimentazione stradale
Albedo	0,13	0,12	0,1	0,1	0,08



Figura 7: Albedometro in fase di misura nella Piazza dei Mirti.

La campagna di misura sperimentale è necessaria per la fase di calibrazione del modello numerico realizzato con il software ENVI-met.

Le condizioni termoigrometriche al contorno utilizzate nel modello numerico sono relative alla giornata del 31/07/2017 e sono mostrate nelle Figure 8 e 9. Dall'andamento della temperatura dell'aria mostrata in Figura 8, si può notare come la temperatura dell'aria nel punto P (centralina posizionata in un parco) rimanga più bassa nelle ore di assenza della radiazione solare e raggiunga un picco superiore a 38°C alle ore 14. L'andamento della temperatura dell'aria nei punti R e M risultano essere discordanti nelle ore mattutine raggiungendo una differenza di massimo 3°C , per poi proseguire durante le ore pomeridiane senza apprezzabili discordanze fra loro. Questo è spiegato dal fatto che entrambi le centraline sono state posizionate sulla facciata ad est di due differenti edifici.

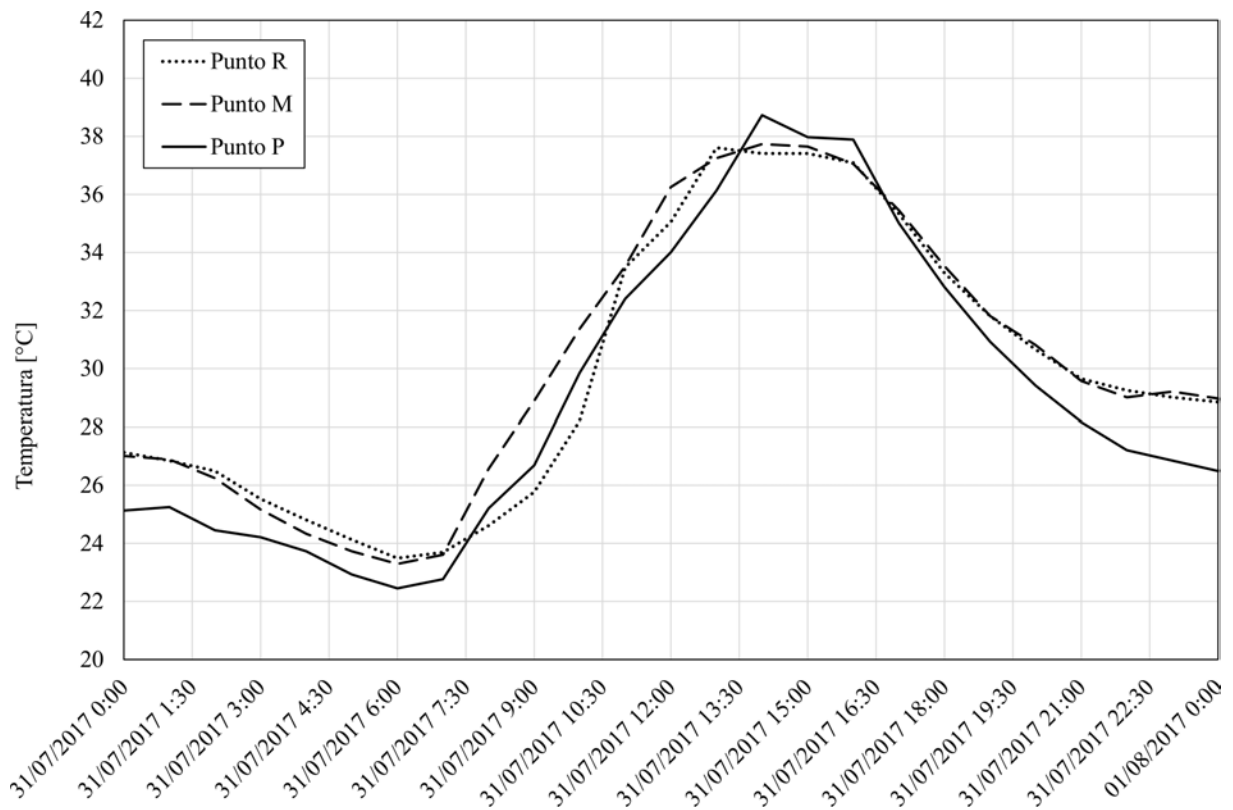


Figura 8: Andamento della temperatura dell'aria misurata nel giorno 31/07/2017 con le centraline DECAGON EM50 nei punti R, M e P relativi alla Figura 1.

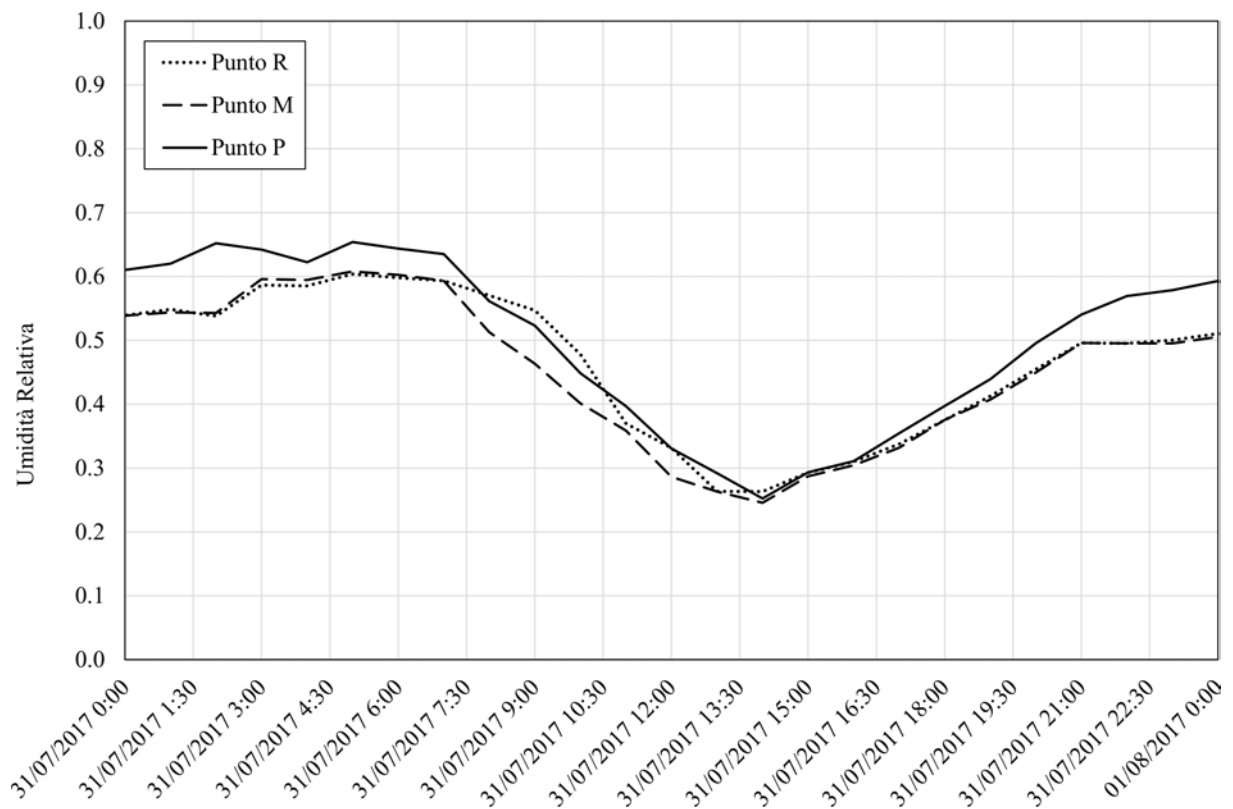


Figura 9: Andamento dell'umidità relativa dell'aria misurata nel giorno 31/07/2017 con le centraline DECAGON EM50 nei punti R, M e P relativi alla Figura 1.

5.2 Analisi numerica

Il modello numerico è realizzato tramite il software ENVI-met. Tale software è sia CFD che SVAT (Soil, Vegetation and Atmosphere Transfer) e consente di eseguire simulazioni ambientali e microclimatiche di intere aree urbane, modellando tutti i processi che si sviluppano tra l'atmosfera, la parte superficiale del suolo e quella profonda. Con ENVI-met è possibile valutare le interazioni fra edifici, superfici, vegetazione, flussi d'aria e di energia di una porzione di area urbana sollecitata dalle condizioni climatiche di contesto geografico.

La geometria di Piazza dei Mirti realizzata tramite il software ENVI-met è mostrata in Figura 10 in comparazione con un'immagine satellitare della zona.



Figura 10: Geometria del modello numerico realizzato in ENVI-met e immagine satellitare di Piazza dei Mirti.

Le simulazioni numeriche sono state eseguite partendo dalle ore 18:00 del giorno 30/07/2017 fino alla mezzanotte del 31/07/2017 per un totale di 30 ore di simulazione. Le prime sei ore di simulazione (dalle 18:00 alla mezzanotte del 30/07/2017) sono necessarie per risolvere il transitorio iniziale. Le simulazioni sono state eseguite imponendo un vento proveniente da ovest a una intensità di 1,26 m/s costante per tutte le ore di simulazione.

Nel capitolo seguente verranno mostrate i risultati dell'analisi della calibrazione del modello e le analisi degli effetti delle varie tecniche di mitigazione scelte.

6 Analisi numerica dell'impatto delle tecniche di mitigazione sul microclima urbano

6.1 Risultati della calibrazione del modello numerico

Il modello numerico realizzato con il software ENVI-met è stato oggetto di una serie di simulazioni atte ad eseguire la calibrazione dei dati simulati e di quelli misurati. In particolare l'approccio metodologico è stato quello di confrontare l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria fra i dati misurati e simulati nel punto M di Figura 1 e di calcolarne l'errore relativo. Nelle Figure 11 e 12 sono mostrati gli andamenti della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria delle varie simulazioni di calibrazione eseguite (indicate come M def) e dei dati misurati all'interno di Piazza dei Mirti (indicata con MIRT).

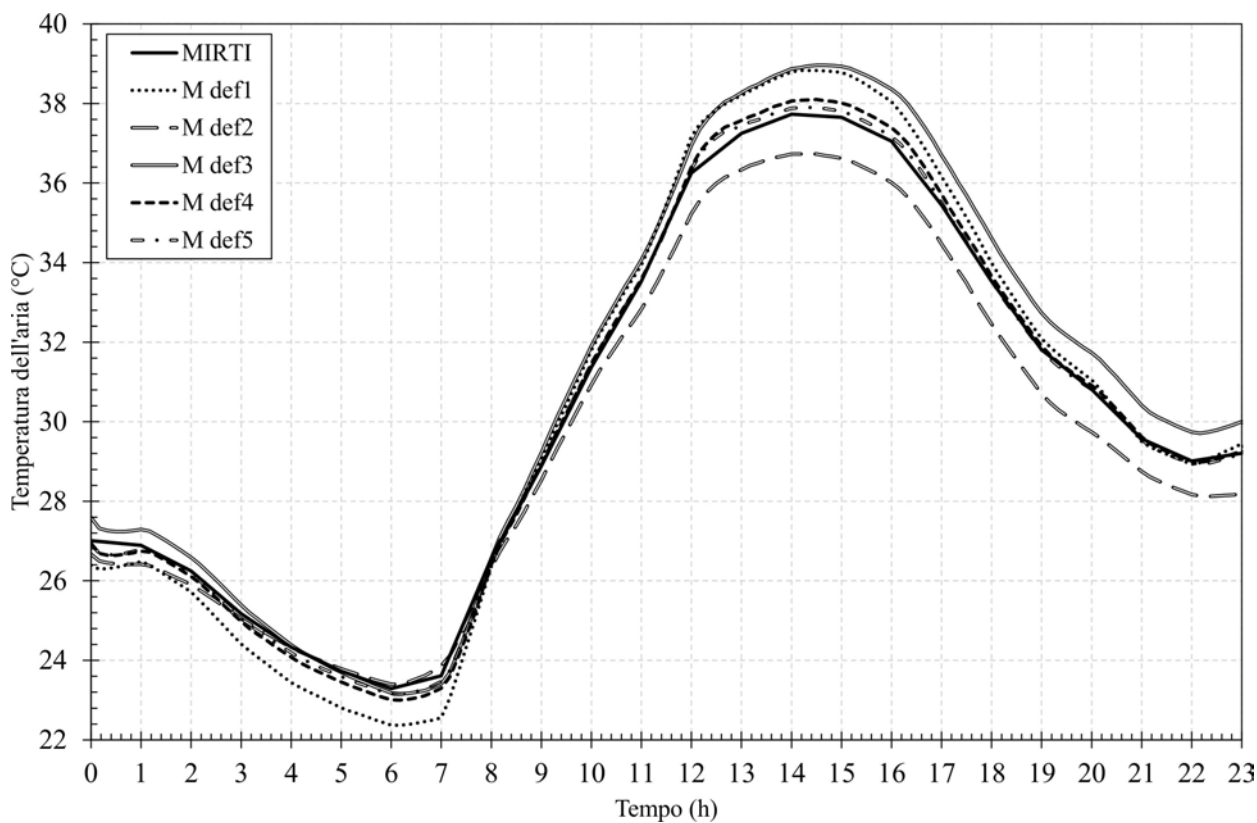


Figura 11: Andamento della temperatura dell'aria misurata nel giorno 31/07/2017 con le centraline DECAGON EM50 e quella simulata nel punto M2 di Figura 1.

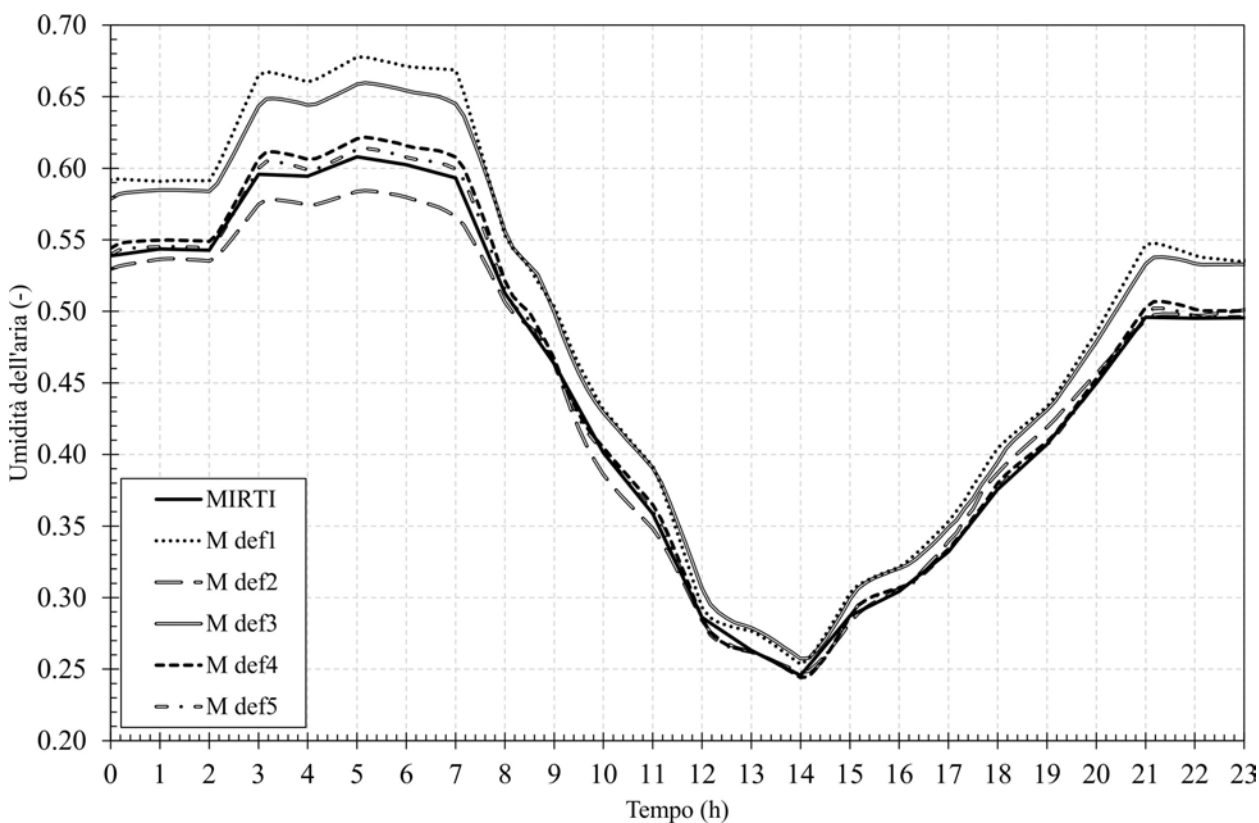


Figura 12: Andamento dell'umidità relativa dell'aria misurata nel giorno 31/07/2017 con le centraline DECAGON EM50 e quella simulata nel punto M2 di Figura 1.

Nella Tabella 2 sono mostrati gli scarti percentuali medi, massimi e minimi fra i valori simulati e quelli misurati. Inoltre è stato calcolato il MAE (Mean Absolute Error), un indice che tiene in conto delle differenze in valore assoluto fra i dati simulati e quelli misurati. Tale indice risulta essere utile per individuare la vicinanza dei valori.

Tabella 2: Risultati dello scarto percentuale e del MAE fra i dati simulati e misurati.

	M def1		M def2		M def3		M def4		M def5	
	UR	T	UR	T	UR	T	UR	T	UR	T
Scarto medio	8,2%	-0,1%	-0,9%	-1,8%	7,0%	1,9%	1,0%	0,0%	0,3%	-0,1%
Scarto massimo	12,7%	3,0%	3,1%	1,1%	8,9%	3,5%	2,4%	1,0%	1,0%	0,5%
Scarto minimo	2,4%	-4,4%	-4,5%	-3,5%	4,0%	-0,8%	-0,6%	-1,3%	-0,8%	-0,6%
MAE	0,040	0,602	0,010	0,641	0,033	0,640	0,006	0,174	0,002	0,082

Dai dati forniti in Tabella 2 si può notare come la calibrazione del modello numerico sia raggiunta con la simulazione M def5 nella quale lo scarto medio percentuale è di 0,3% per l'umidità relativa e del -0,1% per la temperatura dell'aria. Tale simulazione raggiunge i più bassi valori di MAE rispetto alle altre simulazioni con valori di 0,002 per l'umidità relativa e di 0,082 per la temperatura dell'aria.

6.2 Risultati dell'analisi delle tecniche di mitigazione

In questa sezione vengono riportati i risultati derivanti dalle diverse tecniche di mitigazione scelte. Sono state eseguite delle valutazioni comparative dovute all'applicazione di materiali cool/ sulle pavimentazioni stradali, all'introduzione del prato all'interno della piazza, all'installazione di specchi d'acqua, alla costruzione di una tettoia che possa schermare dalla radiazione solare, dalla sostituzione degli otto alberi della piazza centrale con altrettanti alberi più maturi, e all'aumento degli alberi attualmente presenti nell'intera piazza. Nella Figura 13 sono riportati i modelli utilizzati per le tecniche di mitigazione scelte: "Standard" corrisponde all'attuale condizione della piazza; "Cool" corrisponde all'applicazione di materiali cool/ su tutte le pavimentazioni stradali circoscritte dalle linee rosse tratteggiate, indicando con il valore 0,15 e 0,30 la riflettanza del materiale adottato; "Prato" corrisponde all'applicazione di un prato al centro della piazza individuato dalla linea rossa tratteggiata; "Albero T1" corrisponde alla sostituzione degli otto alberi della piazza che hanno attualmente un'altezza media di 4 metri (denominati T3), con alberi alti 10 metri (denominati T1); "Albero T2" corrisponde alla sostituzione degli otto alberi della piazza con alberi alti 6 metri (denominati T2); "Albero Num T1" corrisponde all'aggiunta di 26 alberi del tipo T1 e alla sostituzione degli attuali 8 alberi del tipo T3 con alberi di tipo T1 all'interno dell'intera piazza mantenendo ove possibile inalterato il passo fra essi; "Albero Num T2" corrisponde all'aggiunta di 26 alberi del tipo T2 e alla sostituzione degli attuali 8 alberi del tipo T3 con alberi di tipo T2 all'interno dell'intera piazza mantenendo ove possibile inalterato il passo fra essi; "Albero Num T3" corrisponde all'aggiunta di 26 alberi del tipo T3, ovvero identici a quelli attualmente esistenti, all'interno dell'intera piazza mantenendo ove possibile inalterato il passo fra essi; "Acqua" corrisponde all'applicazione di uno specchio d'acqua al centro della piazza individuato dalla linea rossa tratteggiata; "Tettoia" corrisponde all'installazione di una tettoia individuata dalla linea rossa tratteggiata; "Multipla" corrisponde all'unione delle tecniche di mitigazione individuate nei casi "Cool 0,30", "Acqua", "Tettoia" e "Albero Num T1".

6.2.1 Variazione spaziale della temperatura dell'aria

Nelle Figure 14, 15 e 16 sono riportate le temperature dell'aria calcolate su un piano di taglio a 1,8 metri di altezza dal suolo e rispettivamente alle ore 6, 12 e 18.

Si può notare come non si abbiano significative variazioni di temperatura dell'aria al variare delle tecniche di mitigazione nelle prime ore della mattina. Le uniche variazioni si notano nel caso "Albero Num T1", "Tettoia" e "Acqua". Per le restanti tecniche tutte le mappe di temperatura dell'aria alle ore 6 risultano avere campi di temperatura dell'aria molto simili nei quali non sono apprezzabili variazioni localizzate di temperatura dell'aria.

Nelle ore più calde della giornata si possono registrare variazioni di temperatura dell'aria ad un'altezza dal suolo di 1,8 metri come mostrato in Figura 15 che riporta i valori per le ore 12. La variazione della riflettanza della pavimentazione stradale di Piazza dei Mirti comprensiva dell'asfalto della strada, da valori di 0,1 corrispondente alla condizione standard a valori di 0,15 e 0,30, comporta la variazione delle condizioni di temperatura dell'aria all'interno della zona di interesse. Per quanto riguarda le tecniche di mitigazione incentrate sulla variazione della vegetazione della piazza, si può notare che l'installazione del prato non sembra comportare sensibili variazioni della temperatura dell'aria a differenza della sostituzione degli attuali otto alberi con quelli di tipologia T1 (caso "Albero T1") che sfruttano soprattutto l'effetto dell'ombreggiamento della radiazione solare. È evidente che l'installazione di alberi alti 10 metri consente di variare le temperature dell'aria in una zona circoscritta alla parte centrale della Piazza, mentre l'installazione di alberi alti 6 metri non comporta significative variazioni della temperatura dell'aria (caso "Albero T2"). L'aumento del numero di alberi, da 8 a 34 della stessa tipologia attualmente presente (caso "Albero Num T3"), consente una lieve variazione della temperatura dell'aria. Diminuzioni della temperatura dell'aria si evidenziano nel caso di installazione di 34 alberi di tipologia T1 (caso "Albero Num T1") che consente di avere sensibili variazioni della temperatura dell'ordine di 2°C. L'introduzione di uno specchio d'acqua o di una tettoia, nonostante la zona interessata dall'intervento sia la medesima agli interventi del caso "Prato", "Albero T1" e "Albero T2", consentono di avere una sensibile variazione di temperatura dell'aria nella parte centrale della piazza.

Analoghe considerazioni fatte per le ore 12 possono essere fatte per le ore 18 come mostrato in Figura 16, evidenziando maggiormente gli effetti benefici dell'aumento dell'alberatura della piazza, nonché della tipologia di albero (da tipo T3 a tipo T1).

Infine possono essere valutati gli effetti combinati dell'introduzione contemporanea di diverse tecniche di mitigazione. Infatti, il caso "Multipla" corrisponde all'unione delle tecniche di mitigazione individuate nei casi "Cool 0,30", "Acqua", "Tettoia" e "Albero Num T1". Da come si può notare dalle Figure 14, 15 e 16, si riesce ad ottenere un notevole abbassamento della temperatura dell'aria soprattutto nella zona centrale della piazza. I maggiori effetti benefici si hanno nelle ore più calde della giornata. Infatti, analizzando la Figura 15 si può notare come si riesca ad ottenere una riduzione della temperatura dell'aria nella zona centrale della piazza di oltre 2°C.

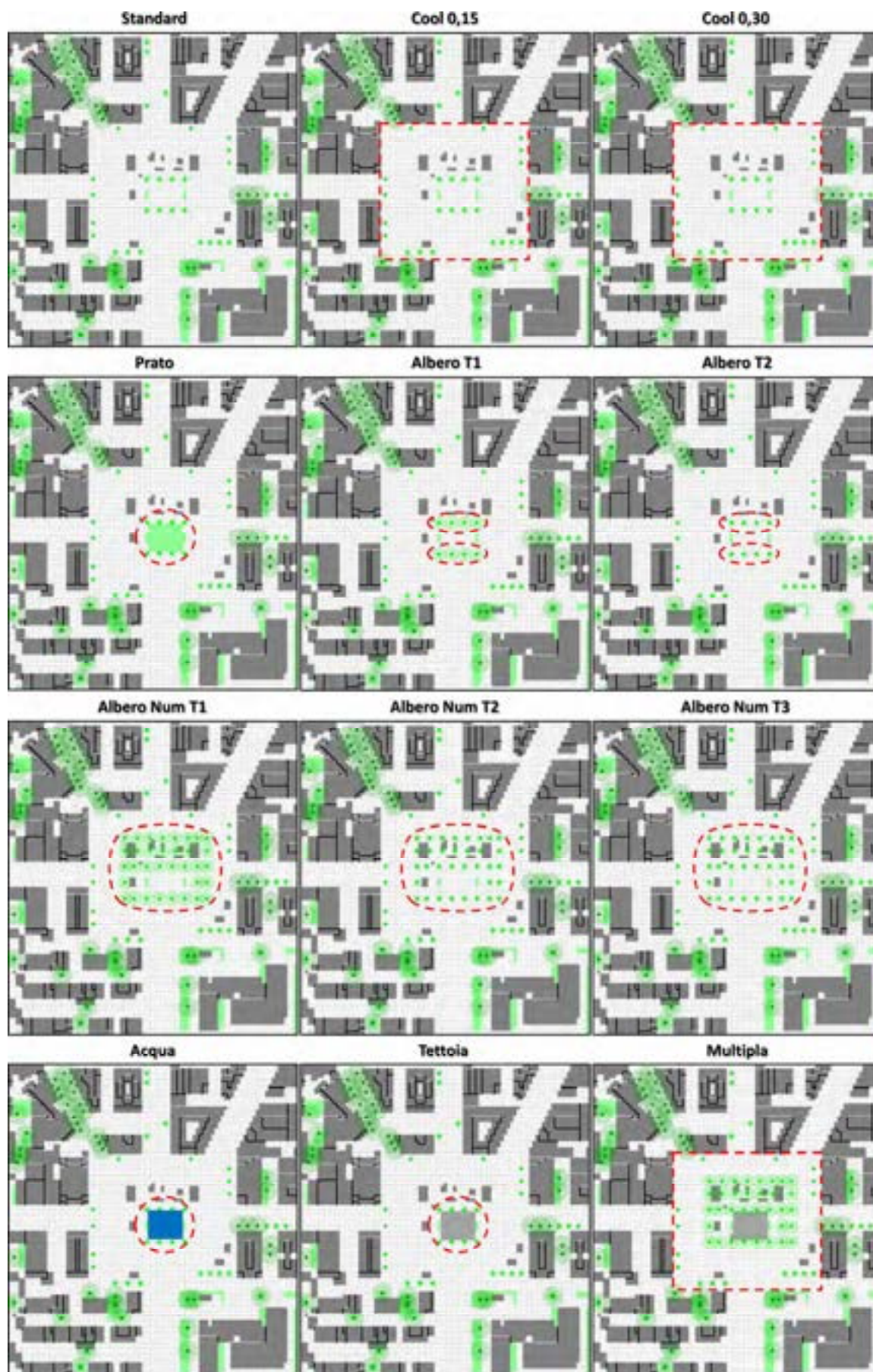


Figura 13: Modelli utilizzati per le tecniche di mitigazione scelte. L'area d'intervento è circonscritta dai tratteggi rossi.

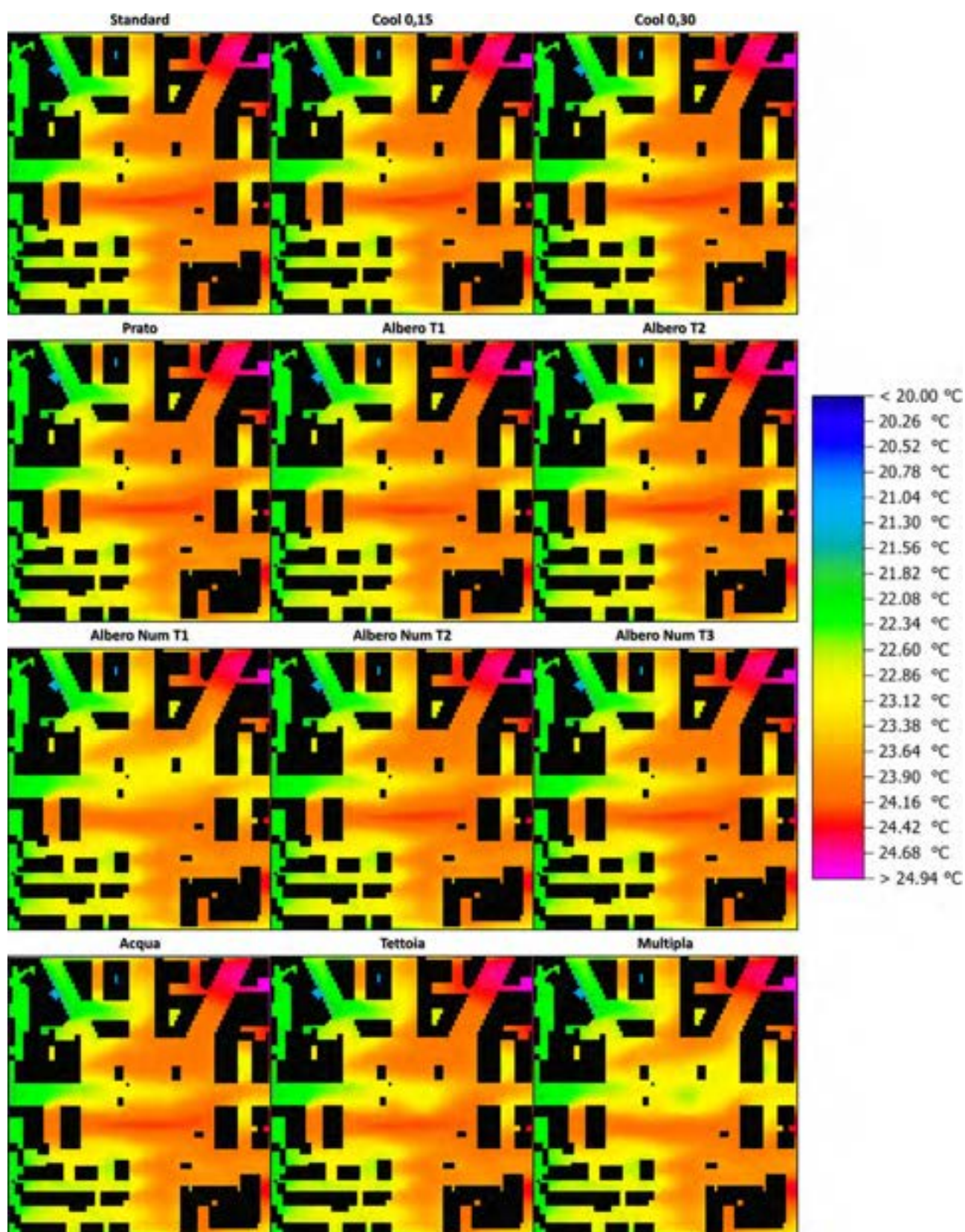


Figura 14: Campo di temperatura dell'aria alle ore 6 su un piano posto a 1,8 metri dal terreno delle diverse tecniche di mitigazione scelte.

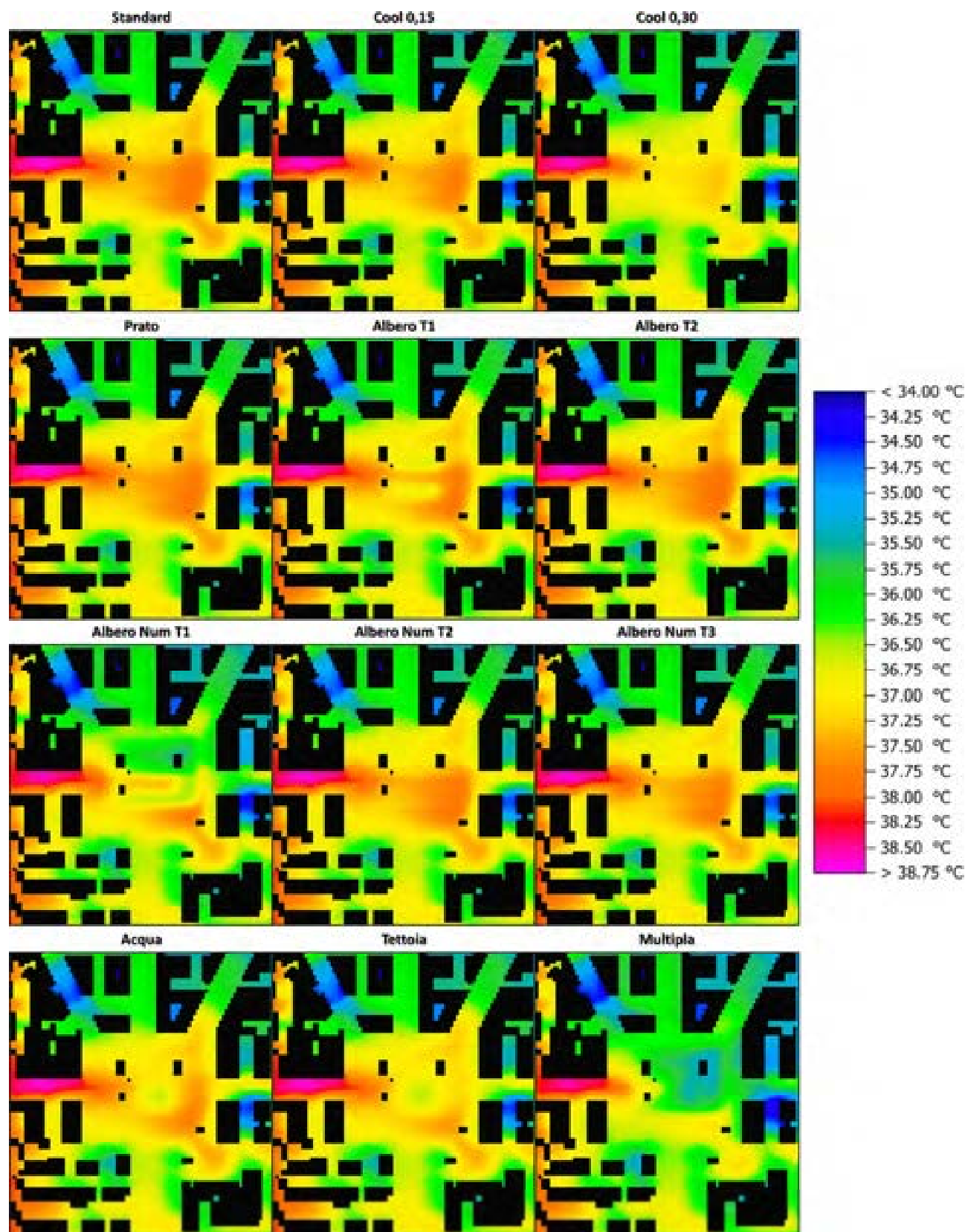


Figura 15: Campo di temperatura dell'aria alle ore 12 su un piano posto a 1,8 metri dal terreno delle diverse tecniche di mitigazione scelte.

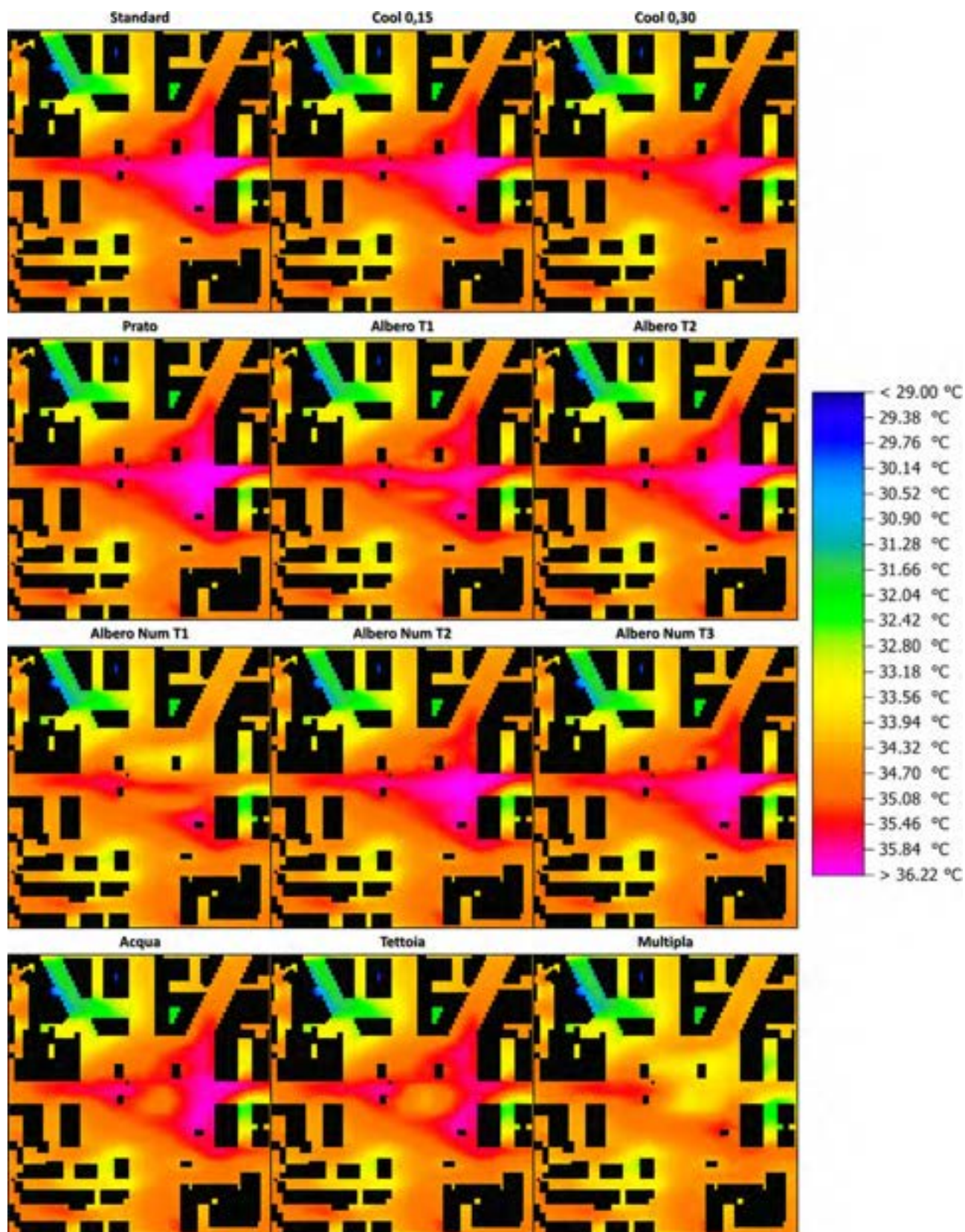


Figura 16: Campo di temperatura dell'aria alle ore 18 su un piano posto a 1,8 metri dal terreno delle diverse tecniche di mitigazione scelte.

6.2.2 Variazione temporale della temperatura dell'aria

Per analizzare quantitativamente gli effetti delle varie tecniche di mitigazione, si è scelto di eseguire un confronto dei risultati calcolati in un punto centrale alla piazza individuato dalla lettera "C" in Figura 17.

In Figura 18 sono riportati le differenze di temperatura giornaliera calcolati nel punto "C" di Figura 17 ad un'altezza dal suolo di 1,8 m, fra le varie tecniche di mitigazione considerate e la condizione "Standard". Da questa analisi quantitativa si può notare come le tecniche di mitigazione proposte che hanno un maggiore effetto durante l'intera giornata di simulazione sono l'installazione della tettoia, lo specchio d'acqua, il materiale *cool* con riflettanza di 0,3, gli alberi di tipo T1 e l'aumento delle alberature nella piazza con tipologie T1. Tale analisi conferma quanto detto in precedenza per le Figure 14, 15 e 16. Nella Tabella 3 sono riportati i valori medi e massimi di differenza di temperatura fra la condizione standard e tutte le tecniche di mitigazione scelte. Il maggior effetto di riduzione della temperatura dell'aria si ha tramite l'installazione di una tettoia che consenta la schermatura della radiazione solare, in quanto si riesce ad abbassare la temperatura dell'aria fino a circa 1,18°C nelle ore di maggior soleggiamento. Mediamente nell'arco della giornata, le tecniche di mitigazione che non hanno avuto un effetto significativo sono dovute all'installazione di un prato, l'utilizzo di materiali *cool* con riflettanza di 0,15, l'installazione di alberi di altezza pari a 6 metri (con alberi di tipo T2), e l'aumento del numero di alberi nell'intera piazza nei casi di tipologie T3 e T2.

Tabella 3: Differenze medie e massime di temperatura dell'aria nella giornata di simulazione fra il caso standard e le tecniche di mitigazione scelte.

	Acqua (°C)	Albero Num T1 (°C)	Albero Num T2 (°C)	Albero Num T3 (°C)	Albero T1 (°C)	Albero T2 (°C)	Cool 0,15 (°C)	Cool 0,30 (°C)	Prato (°C)	Tettoia (°C)	Multipla (°C)
Differenza media	-0.48	-0.37	-0.02	-0.03	-0.12	0.00	-0.05	-0.19	-0.02	-0.84	-1.39
Differenza massima	-0.90	-0.54	-0.06	-0.05	-0.28	-0.03	-0.11	-0.44	-0.07	-1.18	-1.86

Dai risultati proposti è evidente che l'utilizzo di tecniche in grado di schermare la radiazione solare nella piazza hanno il maggior effetto. Tale affermazione è constatata dai valori raggiunti dal posizionamento di una tettoia nella piazza e giustificano i risultati ottenuti con l'installazione di alberi di tipo T1 che, avendo un'altezza di 2,5 volte maggiore di quelli attuali, consentono un maggior ombreggiamento del suolo e un minore surriscaldamento della superficie pavimentata. L'utilizzo di specchi d'acqua ed il calore latente di vaporizzazione ad esso connesso soprattutto durante le ore di maggior soleggiamento, può essere un'ottima soluzione per l'abbassamento della temperatura dell'aria nella zona.

Si noti che l'installazione di materiali ad alta riflettanza solare interessa una porzione di area più estesa rispetto alle altre tecniche di mitigazione. Nonostante ciò la differenza di temperatura massima raggiunta è di solo 0,44°C rispetto all'installazione di specchi d'acqua o di una tettoia che interessando una porzione di area minore consentendo di avere un maggior beneficio termico al centro della piazza.

Infine l'unione delle tecniche di mitigazione individuate nei casi "Cool 0,30", "Acqua", "Tettoia" e "Albero Num T1", ovvero il caso "Multipla", consente una riduzione massima della temperatura dell'aria di 1,86°C e mediamente durante l'arco della giornata di 1,39°C.



Figura 17: Punto per l'analisi dei risultati comparativi della temperatura dell'aria delle diverse tecniche di mitigazione scelte.

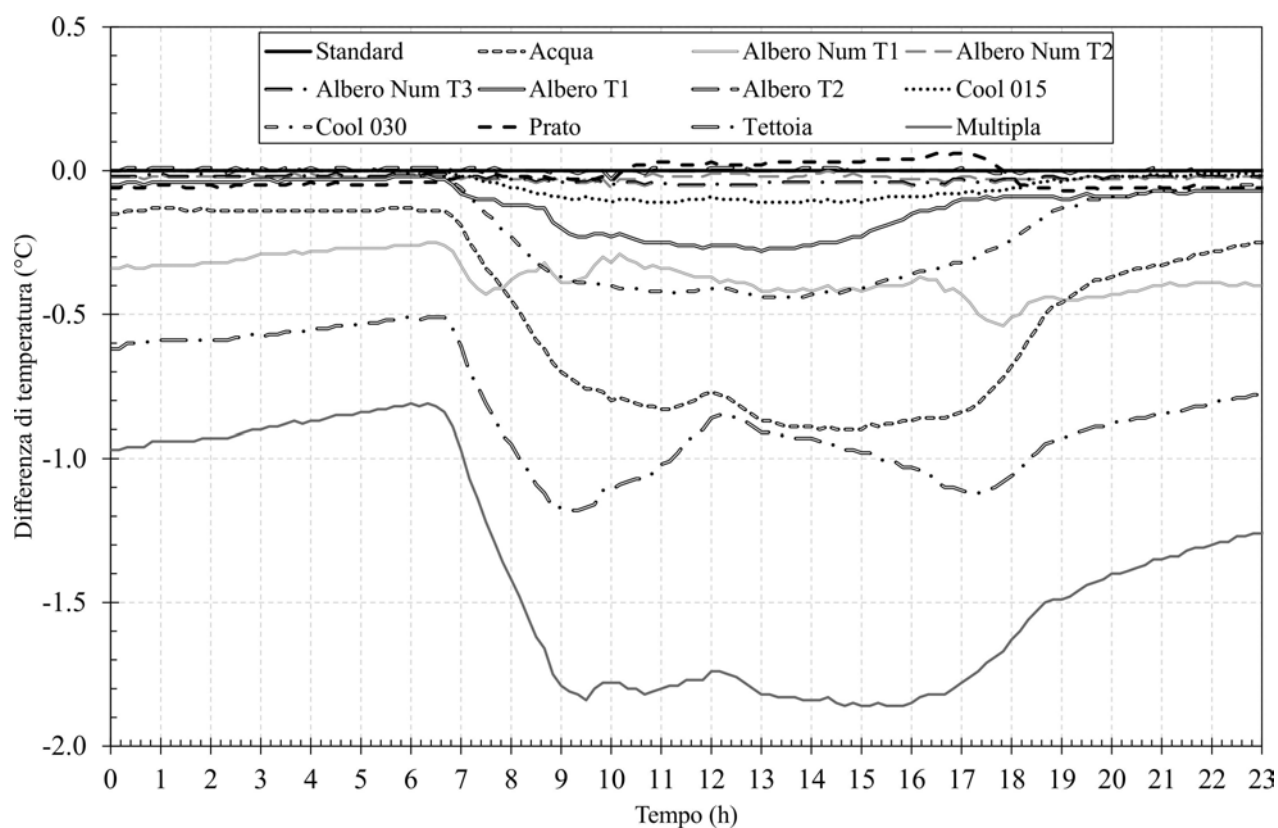


Figura 18: Confronto delle differenze di temperatura dell'aria fra la condizione standard e le tecniche di mitigazione scelte.

7 Conclusioni

I cambiamenti climatici e il *global warming* sono fenomeni che stanno caratterizzando l'area mediterranea, per la quale diversi studi scientifici hanno stimato un incremento delle temperature medie di 2 °C nel corso delle prossime due decadi. L'area mediterranea sta subendo un processo di urbanizzazione che prosegue incessantemente. L'effetto combinato del *global warming* e dell'urbanizzazione è la causa della formazione dell'effetto isola di calore urbana (UHI) che ha un'intensità differente a seconda della stagione considerata.

Per far fronte a tale fenomeno negli ultimi anni sono numerosi gli studi scientifici sugli effetti delle tecniche di mitigazione delle condizioni termiche delle aree urbane. Il progetto "Analisi integrata di soluzioni tecnologiche per la mitigazione del microclima urbano e il miglioramento del benessere dei cittadini. Un caso studio" è volto allo studio della mitigazione e della riqualificazione termo-igrometrica di aree urbane ad elevato stress termico ed è basato su diverse soluzioni tecnologiche. La ricerca riguarda un caso studio individuato nella Piazza dei Mirti posta nella zona di Centocelle a Roma. Tale zona è stata scelta in quanto è caratterizzata da un'alta densità di edifici, da una bassa presenza di verde e dall'assenza di fontane d'acqua, che ne fanno una zona urbana ad elevato stress termico. Inoltre, l'elevata densità abitativa consente di coinvolgere un maggior numero di cittadini ai benefici dovuti dalle possibili tecniche di mitigazione scelte per la piazza.

In tale studio è stato implementato un modello numerico tramite il software ENVI-met di modo da valutare i benefici termici dovuti all'utilizzo di tecniche di mitigazione per l'abbassamento della temperatura dell'aria nella piazza e il conseguente miglioramento delle condizioni di comfort urbano della zona. Tra le tecniche possibili sono stati valutati gli effetti dell'implementazione della vegetazione urbana, dell'utilizzo di materiali *cool* per la pavimentazione stradale, dell'utilizzo di una tettoia che sia in grado di ombreggiare la parte centrale della piazza e dell'installazione di specchi d'acqua.

Al fine di simulare i diversi scenari possibili della zona di interesse, sono state eseguite delle misure di temperatura e umidità relativa dell'aria in diversi punti. I dati di temperatura a bulbo secco e umidità relativa sono stati ottenuti mediante centraline composte da sensore termo-igrometrico e scheda di acquisizione alloggiata in un contenitore impermeabile modello DECAGON EM 50.

Dai risultati calcolati su un ad un'altezza di 1,8 metri dal suolo per l'intero arco della giornata di simulazione, si può notare come nelle ore più calde della giornata si possono registrare variazioni consistenti di temperatura dell'aria. Le tecniche di mitigazione proposte che hanno un maggiore effetto durante l'intera giornata di simulazione sono l'installazione della tettoia, lo specchio d'acqua, il materiale *cool* con riflettanza di 0,3, gli alberi di tipo T1 e l'aumento delle alberature nella piazza con tipologie T1.

Il maggior effetto di riduzione della temperatura dell'aria si ha tramite l'installazione di una tettoia che consenta la schermatura della radiazione solare, in quanto si riesce ad abbassare la temperatura dell'aria fino a circa 1,18°C nelle ore di maggior soleggiamento. Mediamente nell'arco della giornata, le tecniche di mitigazione che non hanno avuto un effetto significativo sono dovute all'installazione di un prato, l'utilizzo di materiali *cool* con riflettanza di 0,15, l'installazione di alberi di altezza pari a 6 metri (con alberi di tipo T2), e l'aumento del numero di alberi nell'intera piazza nei casi di tipologie T3 e T2. L'utilizzo di specchi d'acqua ed il calore latente di vaporizzazione ad esso connesso soprattutto durante le ore di maggior soleggiamento, può essere un'ottima soluzione per l'abbassamento della temperatura dell'aria nella zona.

Inoltre è importante sottolineare come l'installazione di materiali ad alta riflettanza solare interessa una porzione di area più estesa rispetto alle altre tecniche di mitigazione. Nonostante ciò la differenza di temperatura massima raggiunta è di solo 0,44°C rispetto all'installazione di specchi d'acqua o di una tettoia che interessando una porzione di area minore consentendo di avere un maggior beneficio termico al centro della piazza.

Infine l'unione delle tecniche di mitigazione individuate nei casi "Cool 0,30", "Acqua", "Tettoia" e "Albero Num T1" consente una riduzione massima della temperatura dell'aria di 1,86°C e mediamente durante l'arco della giornata di 1,39°C.

Lo studio ha messo in risalto come il clima nell'area urbana di Piazza dei Mirti di Roma possa generare problematiche di discomfort e di salute pubblica durante i periodi estivi dovuto alle caratteristiche intrinseche della zona. Risulta quindi necessario implementare strategie per mitigare le temperature della piazza attraverso l'utilizzo di materiali ad alta riflettanza solare, di specchi d'acqua, di tettoie o l'utilizzo di alberature più mature e in maggior numero rispetto alle attuali presenti nella zona.

8 Riferimenti bibliografici

- [1] IPCC, "Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", IPCC, Geneva, Switzerland.
- [2] IPCC, "Summary for Policymakers", in "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change". Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] P. Bleu, "Climate Change and Energy in the Mediterranean", Regional Activity Center, Sophia Antipolis, July 2008.
- [4] R.A. Memon, D.Y.C. Leung, C. Liu, "An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating", Atmospheric Research, 94 (2009), 491–500.
- [5] T.R. Oke, G.T. Johnson, D.G. Steyn, I.D. Watson, "Simulation of surface urban heat islands under "ideal" conditions at night: Part 2", Diagnosis of causation, Boundary Layer Meteorology, 56 (1991), 339–358.
- [6] M. Santamouris, "Energy and Climate in the Urban Built Environment", James and James Science Publishers, (2001), London.
- [7] D. Stewart, "A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature", International Journal of Climatology, Special Issue: ICUC-7 Urban Climate Meeting 31(2) (2011), 200–217.
- [8] D.K. Papanastasiou, C. Kittas, "Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city", Theoretical and Applied Climatology, 107 (3–4) (2012), 407–416.
- [9] P. Coseo, L. Larsen, "How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago", Landscape and Urban Planning, 125 (2014), 117–129.
- [10] M. Kolokotroni, I. Giannitsaris, R. Watkins, "The effect of London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies", Solar Energy, 80 (2006), 383–392.
- [11] D. Taleb, B. Abu-Hijleh, "Urban heat islands: potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE", Renewable Energy, 50 (2013), 747–762.
- [12] K. Giannopoulou, I. Livada, M. Santamouris, M. Saliari, M. Assimakopoulos, Y. Caouris, "The influence of air temperature and humidity on human thermal comfort over the greater Athens area", Sustainable Cities and Society, 10 (2014), 184–194.

- [13] L. Peruzzi, F. Salata, A. De Lieto Vollaro, R. De Lieto Vollaro, "The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings", *Energy and Buildings*, 68 (2014), 19–24.
- [14] G. Battista, E. Carnielo, L. Evangelisti, M. Frascarolo, R. De Lieto Vollaro, "Energy performance and thermal comfort of a high efficiency house: RhOME for denCity, winner of solar decathlon Europe 2014", *Sustainability*, 7 (2015), 9681–9695.
- [15] F. Salata, A. De Lieto Vollaro, R. De Lieto Vollaro, "A case study of technical and economic comparison among energy production systems in a complex of historic buildings in Rome", *Energy Procedia*, 45 (2014), 482–491.
- [16] S. Bottillo, A. De Lieto Vollaro, G. Galli, A. Vallati, "CFD modeling of the impact of solar radiation in a tridimensional urban canyon at different wind conditions", *Solar Energy*, 102 (2014), 212–222.
- [17] S. Bottillo, A. De Lieto Vollaro, G. Galli, A. Vallati, "Fluid dynamic and heat transfer parameters in an urban canyon", *Solar Energy*, 99 (2014), 1–10.
- [18] G. Battista, E. Carnielo, R. de Lieto Vollaro, "Thermal impact of a redeveloped area on localized urban microclimate: A case study in Rome", *Energy and Buildings*, 133 (2016), 446–454
- [19] S. Parizzotto, R. Lamberts, "Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: a case study of an experimental building in Florianopolis city Southern Brazil", *Energy and Buildings*, 43 (2011), 1712–1722.
- [20] A. Gagliano, M. Detommaso, F. Nocera, G. Evola, "A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs", *Buildings and Environment*, 90 (2015), 71–81
- [21] M. Zinzi, E. Carnielo, S. Agnoli, "Characterization and assessment of cool coloured solar protection devices for Mediterranean residential buildings application", *Energy and Buildings*, 50 (2012), 111–119.
- [22] M. Zinzi, E. Carnielo, A. Federici, "Preliminary studies of a cool roofs' energy-rating system in Italy", *Advances in Building Energy Research*, 8-1 (2014), 84–96.
- [23] D. Kolokotsa, C. Diakaki, S. Papantoniou, A. Vliissidis, "Numerical and experimental analysis of cool roofs application on a laboratory building in Iraklion, Crete, Greece", *Energy and Buildings*, 55 (2012), 85–93.
- [24] H. Akbari, R. Levinson, L. Rainer, "Monitoring the energy use effects of cool roofs on California commercial buildings", *Energy and Buildings*, 37-10 (2005), 1007–1016.
- [25] E. Carnielo, M. Zinzi, "Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand", *Buildings and Environment*, 60 (2013), 56–65.
- [26] M. Santamouris, A. Synnefa, T. Karlessi, "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions", *Solar Energy*, 85–12 (2012), 3085–3102.
- [27] X. Picot, "Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy", *Energy and Buildings*, 36 (2004), 329–334.
- [28] B. Lalic, D.T. Mihailovic, "An Empirical relation describing Leaf Area Density inside the forest for environmental model", *Notes and Correspondence*, (2004), 641–645.

- [29] L. Breuer, K. Eckhardt, H.G. Frede, "Plant parameter values for models in temperate climates", Ecological Modelling, 169 (2003), 237-293.

9 Appendice

Di seguito vengono inseriti un breve curriculum scientifico dei Partner dell'Università di Roma Tre che hanno collaborato con l'ENEA per le attività del presente accordo di programma.

Gabriele Battista ha conseguito il dottorato di ricerca in Ingegneria Meccanica e Industriale il 13/06/2017, con un progetto di ricerca dal titolo "Studio delle correlazioni tra il fenomeno dell'isola di calore e i canyon urbani". Si è laureato in Ingegneria Meccanica e Industriale il 24/12/2012.

Durante il corso di Dottorato è diventato cultore della materia in Fisica Tecnica Ambientale (ING-IND/11) e in Impianti Termotecnici (ING-IND/11) presso l'Università degli Studi Roma Tre. Dall'anno accademico 2013-2014 si occupa di attività di didattica e delle tesi finali per il professor Roberto de Lieto Vollaro per il corso in Fisica Tecnica Ambientale (ING-IND/11), Fisica Tecnica (ING-IND/11), Impianti Termotecnici (ING-IND/11) e Acustica e Illuminotecnica (ING-IND / 11). Nel 2012 e nel 2014 si è occupato di attività di didattica al Master per il corso in Smart Cities and Communities dell'Università Sapienza di Roma. È revisore per le seguenti riviste: Energy and Buildings, Building and Environment, Energy Efficiency, Environmental Science and Pollution Research, Sustainability. Nel 2014, Gabriele Battista è nel team per il progetto RhOME for denCity, organizzato dall'Università degli Studi Roma Tre, che ha vinto il premio internazionale "Solar Decathlon Europe 2014".

Durante questi anni, ha realizzato diverse collaborazioni nel campo del miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici e ha progettato numerosi impianti meccanici per edifici residenziali e non residenziali.

Possiede il brevetto del software EIAalyzer, registrato alla SIAE nel SOFTWARE PUBBLICO DEL REGISTRO con il titolo "Modello di calcolo energetico per la valutazione del risparmio energetico all'interno di edifici ad uso residenziale conseguente agli interventi di riqualificazione - EIAalyzer". Il software è un modello di calcolo energetico per la rapida valutazione del risparmio energetico negli edifici residenziali.

Ha preso parte a numerose conferenze internazionali e nazionali nel campo dell'isolamento urbano e all'efficienza energetica dell'edificio:

Roberto de Lieto Vollaro nasce a Roma, e si laurea in Ingegneria Meccanica Vecchio Ordinamento nel 2003. Nel 2007 consegue il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale presso l'Università di Perugia, e nel 2007 vince un Assegno di Ricerca dal titolo "Qualità dell'aria nei sistemi di trasporto" al Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università La Sapienza di Roma, e nel 2008 diventa professore a contratto di Fisica Tecnica presso la Facoltà Architettura L. Quaroni dell'Università la Sapienza. Nel 2008 è Ricercatore a tempo indeterminato presso il Dipartimento di Meccanica ed industriale della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma Tre e nel periodo 2009-2015 è Professore Aggregato in Acustica ed Illuminotecnica. Dal 2011 è docente titolare del Corso di impianti Termotecnici e dal 2015 è Professore Titolare del Corso di Fisica Tecnica presso Il Dipartimento di Ingegneria sezione Meccanica e nel 2017 consegue l'abilitazione scientifica nazionale a Professore Associato. Iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Roma, è iscritto all'albo dei Tecnici competenti in Acustica della Regione Lazio. Numerose sono le esperienze in ambito di

ricerca scientifica a livello Internazionale e numerose sono le attività Conto Terzi sia per conto di committenti Pubblici che privati sulle tematiche del Risparmio Energetico e degli Impianti Termotecnici, Acustica ed illuminotecnica.