

Ricerca di Sistema elettrico



Servizi energetici aggiuntivi: Valutazione di tecniche di mitigazione dell'isola di calore urbana nella città di Roma con analisi numeriche a meso-scala validate con misure a terra (LA1.30)

Serena Falasca, Anna Maria Siani



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Servizi energetici aggiuntivi: Valutazione di tecniche di mitigazione dell'isola di calore urbana nella città di Roma con analisi numeriche a meso-scala validate con misure a terra

LA1.30 - Servizi energetici aggiuntivi: Valutazione di tecniche di mitigazione dell'isola di calore urbana nella città di Roma con analisi numeriche a meso-scala validate con misure a terra

S. Falasca, A.M. Siani (Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma)

Novembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 - Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: LA 1.30

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Angelo Frascella, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Serena Falasca - Sapienza Università di Roma

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 35

Mese fine effettivo: 35

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: accordo di collaborazione tra l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile e il Dipartimento di Fisica della Sapienza Università di Roma.

Indice

1	Risultati attesi	5
2	Risultati ottenuti.....	6
3	Prodotti attesi	7
4	Prodotti sviluppati	8
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	9
6	Sintesi delle attività svolte	10
7	Dettaglio delle attività svolte.....	11
7.1	Il modello Weather Research and Forecasting (WRF).....	11
7.2	Configurazione del modello per gli esperimenti numerici.....	11
7.2.1	Domini e setup numerico	11
7.2.2	Dataset di input.....	12
7.2.3	Flowchart delle simulazioni con WRF	13
7.3	Caso di riferimento e scenari di mitigazione	14
7.4	Risultati.....	15
7.4.1	Validazione dei risultati numerici e osservazioni	16
7.4.2	Rappresentazione dell'isola urbana di calore nel caso di riferimento	16
7.4.3	Effetti delle tecniche di mitigazione.....	18
7.4.3.1	Aumento dell'albedo.....	18
7.4.3.2	Aumento della percentuale di verde urbano.....	19
7.4.3.3	Combinazione dell'aumento di albedo e della percentuale di verde urbano ...	21
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	22
9	Pubblicazioni scientifiche.....	23
10	Eventi di disseminazione	24

Indice delle figure

Figura 1. Aree geografiche coperte dai domini computazionali di WRF.	11
Figura 2. Categorie di uso del suolo urbano nel dominio su Roma secondo la classificazione LCZ. I punti neri identificano le stazioni meteo dell'ARPA Lazio. Le acquisizioni della stazione Boncompagni (BON) sono utilizzate per convalidare i risultati numerici.	13
Figura 3. Schema a blocchi della configurazione di WRF con relativi input e output.	13
Figura 4. Confronto tra i cicli giornalieri mediati nel periodo simulato per le seguenti variabili simulate da WRF e acquisite dalla stazione ARPA di Boncompagni: temperatura a due metri dal suolo (a) e velocità del vento a dieci metri dal suolo (b).	16
Figura 5. Distribuzione spaziale della temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle ore 06:00 LT (a) e 14:00 LT (b).	17
Figura 6. Distribuzione spaziale della velocità del vento a 10 m dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle ore 06:00 LT (a) e 14:00 LT (b).	17
Figura 7. Cicli giornalieri medi nel periodo simulato di temperatura a 2 m dal suolo (a) e velocità del vento a 10 m dal suolo (b) per diverse densità edilizie (High Density – HD, Middle Density – MD, Low Density – LD).	18
Figura 8. Distribuzione spaziale della differenza tra lo scenario (S1 in a, S2 in b e S3 in c) e il caso di riferimento per la temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT	19
Figura 9. Differenze orarie medie di temperatura a 2 metri nel periodo simulato tra gli scenari di albedo aumentato e il caso di riferimento per diverse densità edilizie (High Density – HD, Middle Density – MD, Low Density – LD): a) S1, b) S2 e c) S3	19
Figura 10. Distribuzione spaziale della differenza tra lo scenario (SG1 in a, SG2 in b) e il caso di riferimento per la temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT	20
Figura 11. Differenze orarie medie di temperatura a 2 metri nel periodo simulato tra gli scenari di percentuale di verde urbano aumentata e il caso di riferimento per diverse densità edilizie (High Density – HD, Middle Density – MD, Low Density – LD): a) SG1, b) SG2	20
Figura 12. Distribuzione spaziale della differenza tra lo scenario (COMBalbS1grSG1 in a, COMBalbS2grSG1 in b e COMBalbS3grSG2 in c) e il caso di riferimento per la temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT.	21
Figura 13. Differenze orarie medie di temperatura a 2 metri nel periodo simulato tra gli scenari di combinazione albedo-percentuale di verde urbano aumentati e il caso di riferimento per diverse densità edilizie (High Density – HD, Middle Density – MD, Low Density – LD): a) COMBalbS1grSG1, b) COMBalbS2grSG1 e c) COMBalbS3grSG2	21

Indice delle tabelle

Tabella 1. Parametrizzazioni fisiche utilizzate per le simulazioni. Il lettore può trovare dettagli riguardo alle parametrizzazioni sul sito https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf	12
Tabella 2. Valori di albedo nel caso di riferimento e negli scenari ad alto albedo.....	14
Tabella 3. Valori di percentuale di verde urbano nel caso di riferimento e negli scenari "what-if" di verde urbano	15
Tabella 4. Valori di albedo e percentuale di verde urbano nel caso di riferimento e negli scenari "what-if" di combinazione.....	15

1 Risultati attesi

I risultati dell'attività riguardano la messa a punto del modello meteorologico WRF che deve essere dapprima installato e configurato per l'area presa in considerazione. Inoltre, la fase di produzione degli scenari "what-if" non può prescindere dalla simulazione preliminare di un caso di riferimento per la valutazione delle performances del modello mediante un confronto con le osservazioni fornite da stazioni meteo sul territorio. Più in dettaglio, i risultati di questo progetto consistono in:

- 1) installazione e compilazione di WRF su infrastruttura per il supercalcolo
- 2) definizione dei domini geografici di simulazione e "tuning" del setup numerico di WRF all'area metropolitana di Roma
- 3) esecuzione del run del caso di riferimento
- 4) valutazione delle performances di WRF mediante il caso di riferimento e dati osservati
- 5) definizione degli scenari "what-if" per l'applicazione delle tecniche di mitigazione dell'isola urbana di calore
- 6) esecuzione delle simulazioni numeriche relative al punto sopra
- 7) estrazione variabili di interesse dagli output di WRF
- 8) analisi dei dati

2 Risultati ottenuti

Di seguito vengono elencati i risultati ottenuti, consistenti con quanto descritto nella sezione sui risultati attesi:

- 1) installazione e compilazione di WRF su infrastruttura per il supercalcolo
- 2) definizione dei domini geografici di simulazione e "tuning" del setup numerico di WRF per l'area metropolitana di Roma
- 3) esecuzione del run del caso di riferimento
- 4) valutazione delle performances di WRF mediante il confronto tra i risultati numerici del caso di riferimento e i dati osservati
- 5) definizione degli scenari "what-if" per l'applicazione delle tecniche di mitigazione dell'isola urbana di calore
- 6) esecuzione delle simulazioni numeriche relative al punto sopra
- 7) estrazione variabili di interesse dagli output di WRF
- 8) analisi dei dati

3 Prodotti attesi

Come riportato nella descrizione delle attività previste nell'ambito della LA e dei risultati attesi, non è previsto lo sviluppo di prodotti. Pertanto, non sono attesi prodotti hardware/software.

4 Prodotti sviluppati

Come riportato nella descrizione delle attività previste nell'ambito della LA e dei risultati attesi, non è previsto lo sviluppo di prodotti. Pertanto, non sono attesi prodotti hardware/software.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si sono verificati scostamenti tra le attività e i risultati ottenuti e quelli attesi. Le attività sono state svolte nelle modalità e nei tempi previsti.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività svolta nell'ambito di questo progetto è consistita nella simulazione mediante il modello WRF dell'applicazione di due tecniche di mitigazione dell'isola urbana di calore (aumento dell'albedo delle superfici urbane e della percentuale di verde urbano) applicate singolarmente e in combinazione. Preliminarmente è stato simulato un caso di riferimento per la città di Roma (luglio e agosto 2020) rispetto al quale è stato poi quantificato il beneficio termico associato all'implementazione delle tecniche considerate nei cosiddetti scenari "what-if" (otto in totale). Tale lavoro ha richiesto la messa a punto di un setup numerico apposito per Roma, la cui affidabilità è stata valutata mediante il confronto dei risultati numerici con le osservazioni acquisite da una stazione meteorologica appartenente alla rete dell'ARPA Lazio. I risultati numerici di tutti gli esperimenti numerici sono stati analizzati in termini di distribuzione spaziale e temporale.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Il modello Weather Research and Forecasting (WRF)

Il modello Weather Research and Forecasting (WRF) è un sistema di modellazione atmosferica progettato sia per la ricerca che per la previsione meteorologica numerica. WRF è un modello comunitario open source ed è stato adottato per la ricerca presso università e laboratori governativi, per la previsione operativa da parte di enti governativi e privati e per applicazioni commerciali da parte dell'industria. Lo sviluppo di WRF è iniziato nella seconda metà degli anni '90 con l'obiettivo di costruire un sistema condiviso da ricerca e operatività e di creare una capacità di previsione meteorologica numerica (NWP) di nuova generazione. Il nuovo sistema di modellazione è diventato una piattaforma comune su cui l'ampia comunità di ricerca sviluppa molteplici capacità. Il sistema WRF è stato sviluppato dapprima attraverso una partnership tra università, enti di ricerca e istituzioni statunitensi e successivamente con il contributo di una sempre più ampia comunità internazionale di utenti (<https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>).

7.2 Configurazione del modello per gli esperimenti numerici

7.2.1 Domini e setup numerico

La configurazione dei domini computazionali (Figura 1), realizzata dal WRF Preprocessing System (WPS), consiste in quattro domini innestati con tecnica di annidamento two-way, che implica che i calcoli vengono svolti contemporaneamente e con una interazione totale tra i domini, cioè con uno scambio bidirezionale delle informazioni. I quattro domini sono stati progettati in modo da coprire: i) la maggior parte dell'Italia peninsulare (dominio d01 a più bassa risoluzione), ii) l'Italia centrale (d02), iii) la regione Lazio (d03) e iv) l'area metropolitana di Roma (dominio d04 a più alta risoluzione). I domini presentano una risoluzione orizzontale crescente da 13,5 km a 0,5 km con un grid ratio pari a 3 e una risoluzione verticale decrescente dal basso verso l'alto con il massimo di circa 23 m vicino al suolo.

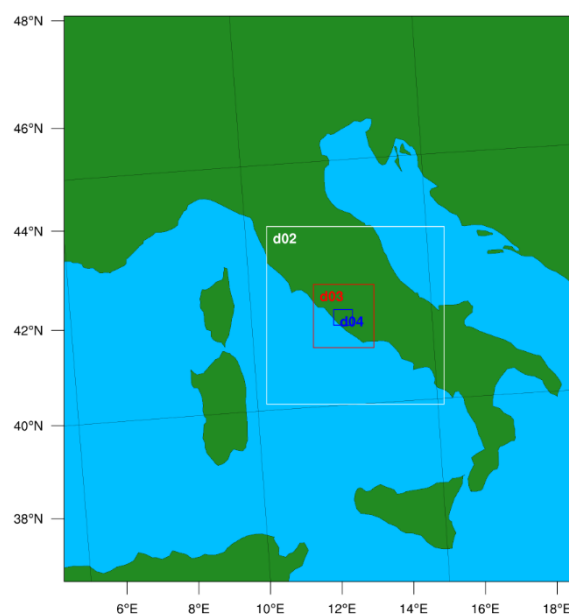


Figura 1. Aree geografiche coperte dai domini computazionali di WRF.

Il setup numerico include le parametrizzazioni fisiche elencate in Tabella 1, in particolare: schema di microfisica Single-Moment 6-class, radiazione ad onda lunga e corta RRTM e Dudhia rispettivamente, surface layer revised MM5, land surface Unified Noah Land Surface Model, schema di strato limite atmosferico Bougeault-Lacarrère e schema urbano Building Effect Parameterization (BEP).

Categoria	Opzione selezionata
Microfisica	Single-Moment 6-class
Radiazione Longwave	RRTM
Radiazione Shortwave	Dudhia
Surface layer	Revised MM5
Land Surface	Unified Noah Land Surface Model
Strato Limite Atmosferico	Bougeault-Lacarrère
Area urbana	Building Effect Parameterization (BEP)

Tabella 1. Parametrizzazioni fisiche utilizzate per le simulazioni. Il lettore può trovare dettagli riguardo alle parametrizzazioni sul sito <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>

7.2.2 Dataset di input

Le condizioni iniziali e al contorno necessarie per l'integrazione delle equazioni differenziali di WRF sono i "FNL (Final) operational global analysis and forecast data" del National Center for Environmental Prediction con risoluzione spaziale di $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e risoluzione temporale di 6 ore (doi: 10.5065/D65Q4T4Z). Il periodo di spin-up per ogni esecuzione è di 12 ore, non incluso nell'analisi dei risultati.

La classificazione dell'uso del suolo è fornita dalle celle non urbane dal dataset MODIS e dal progetto *World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT)*. La copertura del suolo urbano si basa sulla classificazione delle diciassette Local Climate Zones (LCZ) sviluppata da Stewart e Oke (2012, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1), importata e implementata appositamente nel modello WRF al fine di migliorare la realistica della simulazione del tessuto urbano di Roma e del sovrastante strato limite atmosferico rispetto alle tre categorie di uso del suolo urbano disponibili di default in WRF. Le LCZ differiscono tra di esse per la densità di edifici, nonché per la proprietà degli edifici (dimensioni, materiali di costruzione, percentuale di verde urbano). Per la descrizione dettagliata delle caratteristiche delle LCZ si rimanda all'articolo di Stewart e Oke del. Il dataset di LCZ per la città di Roma è stato messo a disposizione degli utenti WRF nell'ambito del progetto comunitario già citato sopra WUDAPT (<https://www.wudapt.org/>). In Figura 2 sono mostrate le categorie di uso del suolo nel dominio a più alta risoluzione spaziale (d04); in particolare, le categorie non urbane sono state raggruppate sotto l'etichetta "Non-urban", mentre quelle urbane sono rappresentate singolarmente.

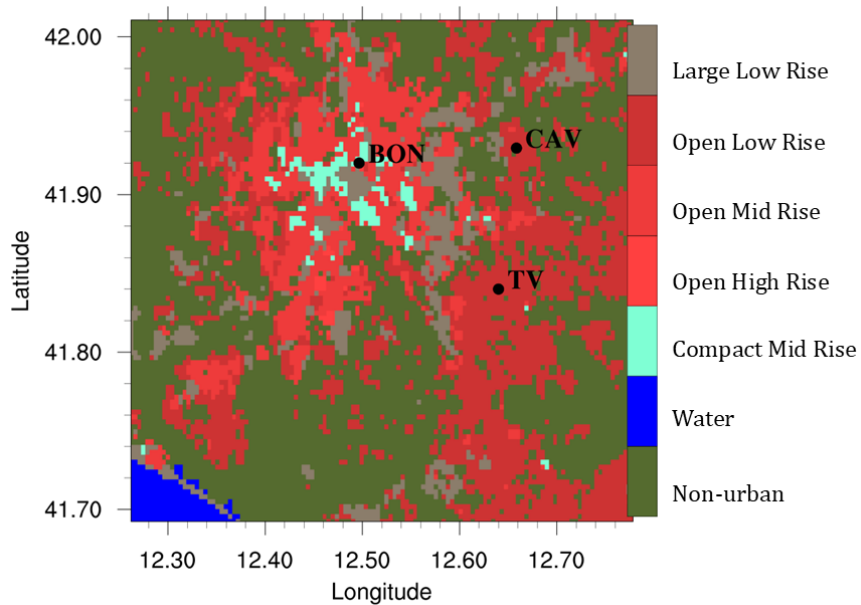


Figura 2. Categorie di uso del suolo urbano nel dominio su Roma secondo la classificazione LCZ. I punti neri identificano le stazioni meteo dell'ARPA Lazio. Le acquisizioni della stazione Boncompagni (BON) sono utilizzate per convalidare i risultati numerici.

7.2.3 Flowchart delle simulazioni con WRF

In Figura 3 è riportato lo schema a blocchi delle simulazioni con WRF, evidenziando gli input necessari (descritti nelle sezioni 7.2.1 e 7.2.2) e gli output prodotti.

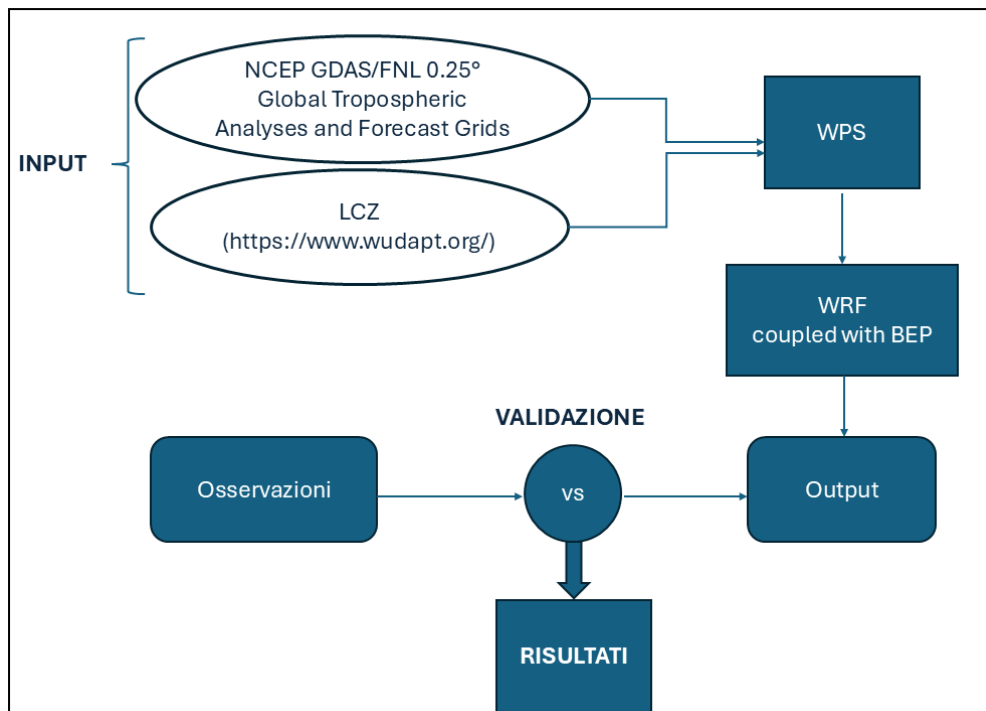


Figura 3. Schema a blocchi della configurazione di WRF con relativi input e output.

7.3 Caso di riferimento e scenari di mitigazione

Ai fini della valutazione degli effetti dell'implementazione delle tecniche di mitigazione del calore urbano sono stati simulati un caso di riferimento e degli scenari mitigativi ("what-if") per il mese di luglio e agosto 2020. Di seguito viene fornita una descrizione dettagliata delle impostazioni di tali esperimenti numerici:

1) caso di riferimento con valori di albedo dei materiali da costruzione e percentuale di verde urbano propri della configurazione di default

2) scenari "what-if" di mitigazione con materiali ad alto albedo (Tabella 2). Incremento del valore di albedo uniformemente per tutte le LCZ sulle superfici di strade, marciapiedi e tetti:

- a. incremento lieve pari a 0.15 e 0.2 rispetto al caso di riferimento per strade/marciapiedi e tetti, rispettivamente (S1)
- b. incremento moderato pari a 0.25 e 0.4 rispetto al caso di riferimento per strade/marciapiedi e tetti, rispettivamente (S2)
- c. incremento forte pari a 0.35 e 0.6 rispetto al caso di riferimento per strade/marciapiedi e tetti, rispettivamente (S3).

I valori dell'albedo nel caso di riferimento e gli incrementi negli scenari sono stati stabiliti sulla base delle caratteristiche dei materiali effettivamente disponibili e sulla base dello stato di avanzamento della tecnica in materia.

Caso	Label	Albedo strade/marciapiedi	Albedo tetti
Caso di riferimento	REF	0.15	0.2
Incremento lieve	S1	0.3	0.4
Incremento moderato	S2	0.4	0.6
Incremento forte	S3	0.5	0.8

Tabella 2. Valori di albedo nel caso di riferimento e negli scenari ad alto albedo

3) scenario "what-if" di mitigazione con incremento della percentuale di verde urbano (Tabella 3):

- a. incremento lieve con raddoppio della frazione di verde urbana (cioè, frazione di costruito dimezzata) nelle classi urbane con frazione costruita maggiore o uguale a 60% (Compact Mid Rise, Open Mid-Rise e Large Low Rise)(SG1)
- b. incremento forte con raddoppio della frazione di verde urbana (cioè, frazione di costruito dimezzata) in tutte le classi. La frazione media di verde urbano passa dal 43% al 70% (SG2)

Tale percentuale è stata stabilita sulla base delle caratteristiche morfologiche delle zone a diversa densità di urbanizzazione della città.

Caso	Label	Percentuale di verde urbano (%)
Caso di riferimento	REF	43
Incremento lieve	SG1	57
Incremento forte	SG2	71

Tabella 3. Valori di percentuale di verde urbano nel caso di riferimento e negli scenari "what-if" di verde urbano

4) Scenari "what-if" di combinazione dei materiali ad alto albedo e dell'incremento della percentuale di verde urbano (Tabella 4):

- a) combinazione di incremento lieve di verde urbano e incremento minimo di albedo (COMBalbS1grSG1)
- b) combinazione di incremento lieve di verde urbano e incremento medio di albedo (COMBalbS2grSG1)
- c) combinazione di incremento forte di verde urbano e incremento forte di albedo (COMBalbS3grSG2)

Per la definizione di questi scenari si è tenuto conto dei risultati ottenuti con le simulazioni degli scenari con la singola tecnica di mitigazione.

Caso	Label	Albedo strade/marciapiedi	Albedo tetti	Percentuale di verde urbano (%)
Caso di riferimento	REF	0.15	0.2	43
Combinazione di incremento lieve di verde urbano e di albedo	COMBalbS1grSG1	0.3	0.4	57
combinazione di incremento medio di albedo e lieve di verde urbano	COMBalbS2grSG1	0.4	0.6	57
Combinazione di incremento forte di albedo e di verde urbano	COMBalbS3grSG2	0.5	0.8	71

Tabella 4. Valori di albedo e percentuale di verde urbano nel caso di riferimento e negli scenari "what-if" di combinazione

7.4 Risultati

In questa sezione viene mostrata soltanto una selezione di risultati ottenuti a causa dei limiti di spazio. Le caratteristiche dell'isola urbana di calore nel caso di riferimento vengono descritte mediante la temperatura a 2 metri (t2) e la velocità dell'aria a 10 metri (v10) dal suolo, mentre per gli scenari "what-if" è stata individuata la t2 come variabile più rappresentativa per la descrizione degli effetti delle tecniche di mitigazione considerate in questo progetto. Nel caso dei cicli giornalieri, le LCZ sono state raggruppate in tre classi, rappresentative di alta densità di urbanizzazione (HD), media densità di urbanizzazione (MD) e bassa densità di urbanizzazione (LD).

7.4.1 Validazione dei risultati numerici e osservazioni

La validazione dei risultati numerici è finalizzata alla valutazione dell'affidabilità del modello WRF ed è stata effettuata mediante il confronto dei risultati numerici con le osservazioni registrate dalla stazione meteorologica Boncompagni appartenente alla rete dell'Agenzia Regionale per Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Regione Lazio (<https://www.arpalazio.it/>). Tale stazione (41,91 °N, 12,50 °E, 72 m s.l.m.) è conforme all'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) ed è installata sul tetto di un edificio situato in un'area densamente edificata nel centro di Roma. I dati orari di temperatura e velocità del vento forniti acquisiti dalla stazione sono stati confrontati con i dati orari di t_2 e v_{10} estratti dell'output di WRF in corrispondenza delle coordinate geografiche della stazione stessa.

La Figura 4 mostra il confronto tra i cicli giornalieri delle variabili t_2 (a) e v_{10} (b) mediati nel periodo considerato, simulate da WRF e estratte in corrispondenza delle coordinate della stazione ARPA di Boncompagni e acquisite dalla stazione stessa.

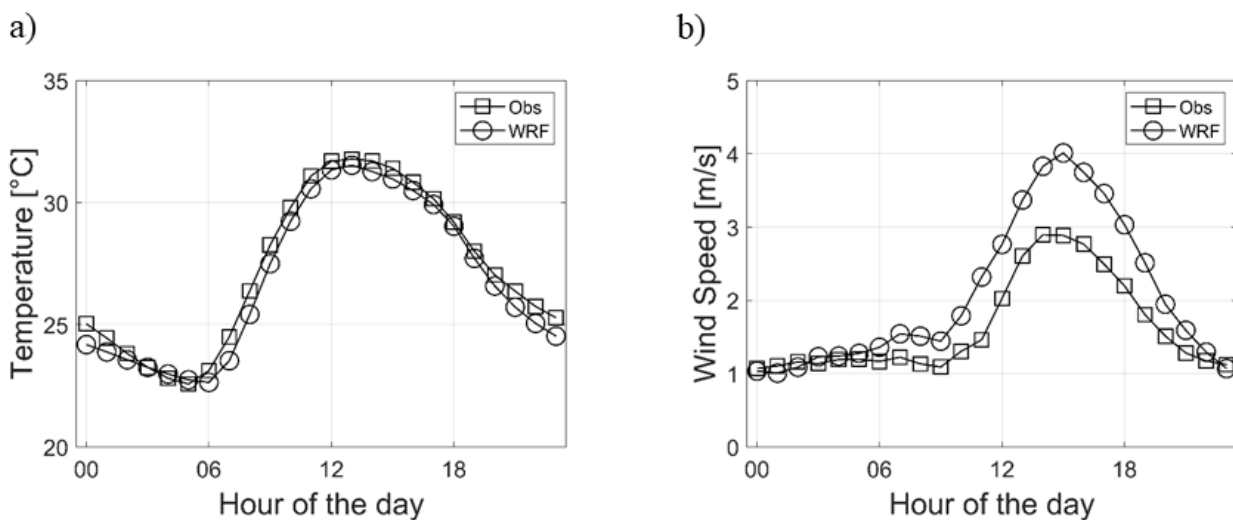


Figura 4. Confronto tra i cicli giornalieri mediati nel periodo simulato per le seguenti variabili simulate da WRF e acquisite dalla stazione ARPA di Boncompagni: temperatura a due metri dal suolo (a) e velocità del vento a dieci metri dal suolo (b).

Successivamente, per quantificare le prestazioni del modello WRF sono stati calcolati alcuni parametri statistici comunemente utilizzati a tale scopo. Per questioni di spazio vengono riportati di seguito soltanto i valori dei parametri statistici più significativi: scarto medio pari a -0.52°C e 0.43 m/s per temperatura e vento rispettivamente e coefficiente di correlazione Pearson pari a 0.94 e 0.79 per temperatura e vento rispettivamente.

7.4.2 Rappresentazione dell'isola urbana di calore nel caso di riferimento

Le Figura 5 e Figura 6 mostrano rispettivamente la distribuzione spaziale di t_2 e v_{10} nel dominio a più alta risoluzione alle ore 06:00 LT (a) e 14:00 LT (b) evidenziando una differenza di temperatura fino a 4°C tra l'area più densamente costruita e le circostanti zone rurali confermando che il fenomeno dell'isola urbana di calore è tipicamente notturno e delle prime ore del mattino. La Figura 6 mostra un duplice aspetto, vale a dire una minore velocità del vento nelle zone più densamente costruite del dominio e una maggiore intensità della brezza,

proveniente dal mare, alle 14:00. Al fine di osservare l'evoluzione diurna di t_2 e v_{10} , sono stati riprodotti in Figura 7 i cicli giornalieri medi nel periodo simulato.

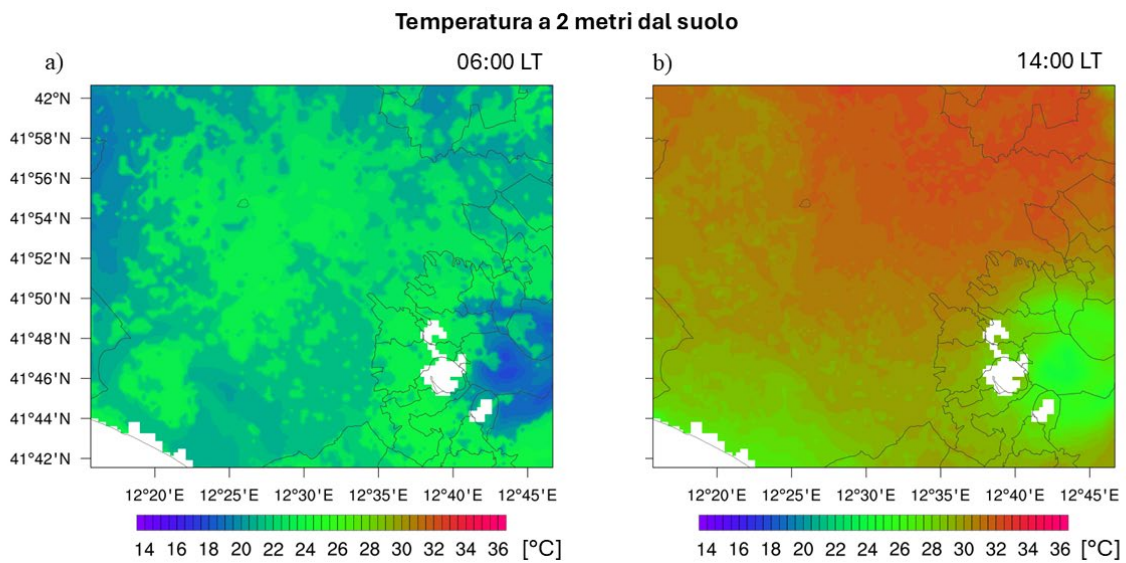


Figura 5. Distribuzione spaziale della temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle ore 06:00 LT (a) e 14:00 LT (b).

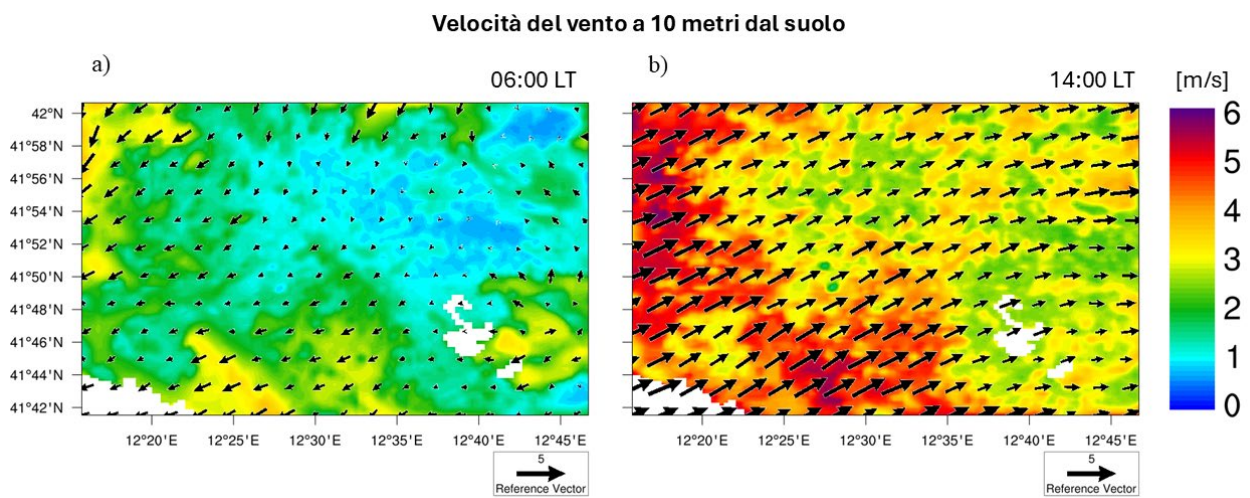


Figura 6. Distribuzione spaziale della velocità del vento a 10 m dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle ore 06:00 LT (a) e 14:00 LT (b).

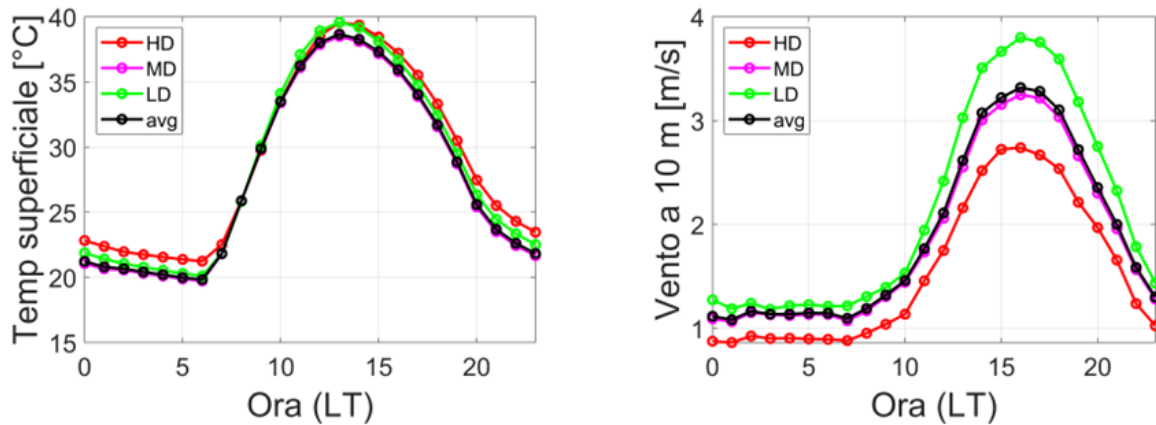


Figura 7. Cicli giornalieri medi nel periodo simulato di temperatura a 2 m dal suolo (a) e velocità del vento a 10 m dal suolo (b) per diverse densità edilizie (High Density – HD, Middle Density – MD, Low Density – LD).

7.4.3 Effetti delle tecniche di mitigazione

In questa sezione vengono illustrati i benefici termici dell'applicazione dei materiali ad alto albedo e dell'incremento di verde urbano mediante due tipologie di rappresentazione grafiche della differenza di temperatura tra gli scenari e il caso di riferimento: i) la distribuzione spaziale alle 14:00 LT in quanto i materiali ad alto albedo agiscono sulla riflessione della radiazione solare che è massima nelle ore centrali della giornata e ii) i cicli giornalieri medi che consentono di evidenziare l'andamento temporale dell'efficacia delle tecniche di mitigazione considerate.

7.4.3.1 Aumento dell'albedo

La Figura 8 mostra la distribuzione spaziale della differenza di temperatura tra gli scenari "what-if" e il caso di riferimento nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT. Dal confronto tra i pannelli a, b e c si evince come all'aumento del valore di albedo dei materiali simulati corrisponde un aumento (in modulo) della differenza di temperatura. Al contrario dell'entità, la distribuzione spaziale del delta termico rimane praticamente invariata nei tre scenari e riguarda non solo l'area urbana, dove viene applicata la tecnica di mitigazione, ma anche la regione a nord est del dominio di calcolo. Visto che i grafici si riferiscono al primo pomeriggio, quando la brezza di mare spira verso l'entroterra (Figura 4), si può dedurre che tale fenomeno sia dovuto proprio al vento che porta aria fresca da ovest verso est rafforzando l'effetto della tecnica di mitigazione.

Differenza tra scenario e caso di riferimento

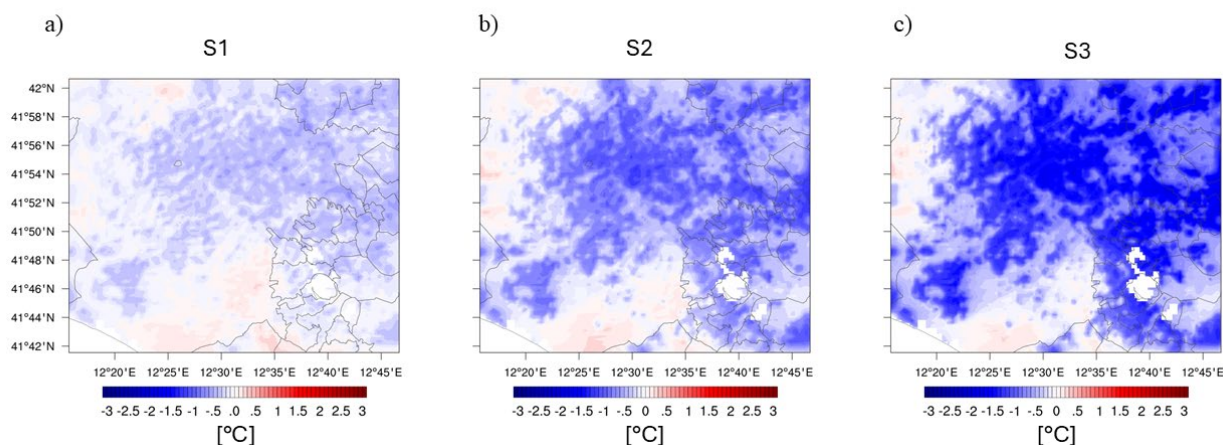


Figura 8. Distribuzione spaziale della differenza tra lo scenario (S1 in a, S2 in b e S3 in c) e il caso di riferimento per la temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT

La Figura 9 mostra l'andamento temporale della differenza di temperatura tra gli scenari e il caso di riferimento. L'entità di tale differenza è, come atteso, maggiore nelle ore centrali della giornata e maggiore per le classi HD verosimilmente per la maggiore estensione delle superfici su cui sono applicati i materiali ad alto albedo. I valori massimi giornalieri del delta termico hanno un range che va da circa -0.5°C a circa $-1.6(-1.9)^{\circ}\text{C}$.

Differenza tra scenario e caso di riferimento

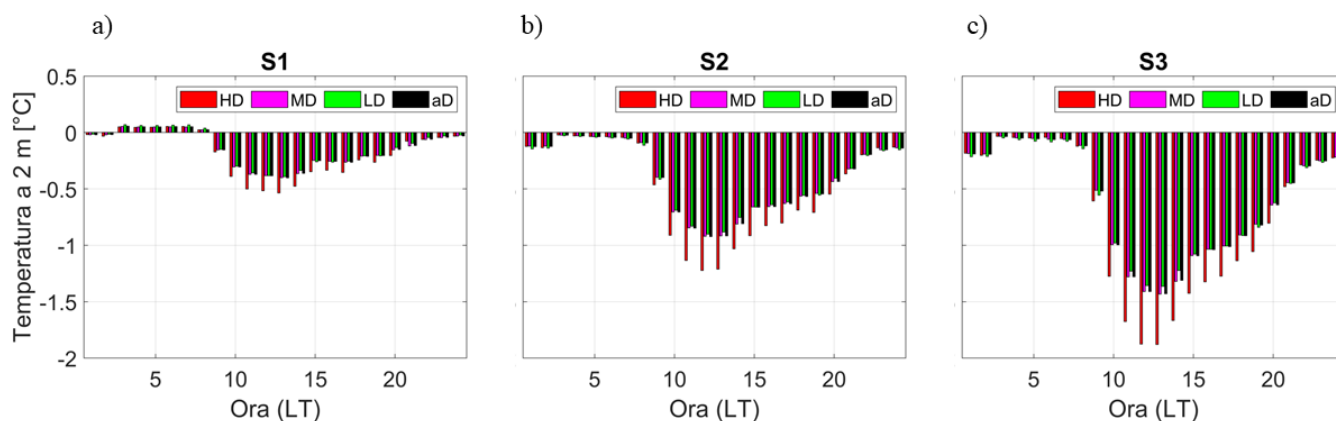


Figura 9. Differenze orarie medie di temperatura a 2 metri nel periodo simulato tra gli scenari di albedo aumentato e il caso di riferimento per diverse densità edilizie (High Density - HD, Middle Density - MD, Low Density - LD): a) S1, b) S2 e c) S3

7.4.3.2 Aumento della percentuale di verde urbano

La Figura 10 mostra la distribuzione spaziale della differenza di temperatura tra gli scenari "what-if" con incremento di verde urbano e il caso di riferimento nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT. La maggiore entità di tale differenza si ha in corrispondenza delle

celle identificate come urbane (Figura 2) ed è più consistente nelle aree centrali della città, dove la densità di costruzione è più elevata, aspetto evidenziato anche dai grafici in Figura 11.

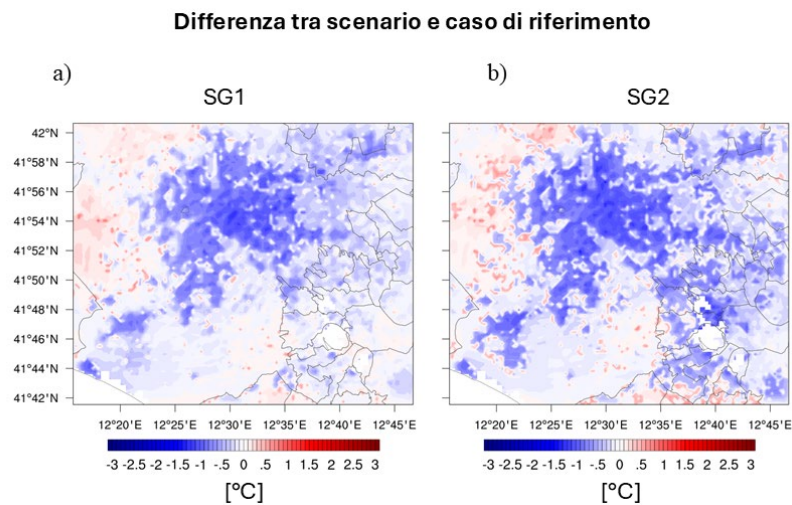


Figura 10. Distribuzione spaziale della differenza tra lo scenario (SG1 in a, SG2 in b) e il caso di riferimento per la temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT

La Figura 11 mostra anche che, a differenza dell'aumento dell'albedo delle superfici urbane, l'aumento del verde urbano è più efficace durante le ore serali e notturne in quanto legato al fenomeno dell'evapotraspirazione per tutte le classi di densità urbana. Dal punto di vista dell'entità del delta termico, invece, le tre classi risentono in maniera diversa di questa tecnica di mitigazione. Infatti, durante il giorno il delta termico è sensibilmente maggiore in valore assoluto nella HD (-0.7-0.8°C circa in SG1 e SG2) ad evidenziare un possibile ruolo anche dell'ombreggiamento, mentre durante la sera e la notte anche le classi LD e MD presentano riduzioni termiche rilevanti (fino a -1.2°C in SG2).

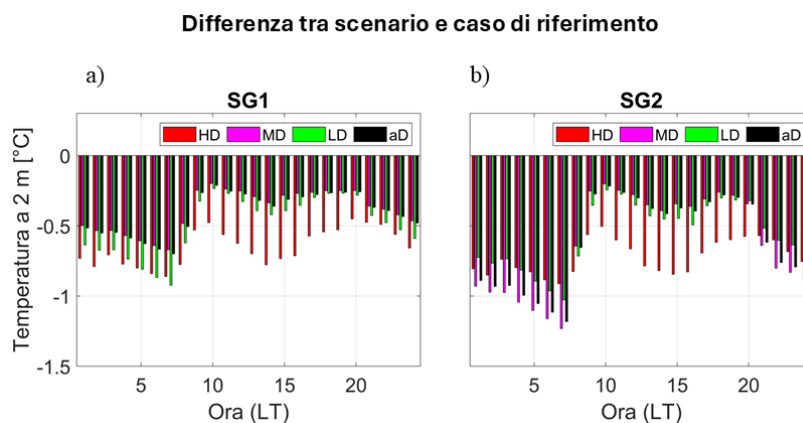


Figura 11. Differenze orarie medie di temperatura a 2 metri nel periodo simulato tra gli scenari di percentuale di verde urbano aumentata e il caso di riferimento per diverse densità edilizie (High Density - HD, Middle Density - MD, Low Density - LD): a) SG1, b) SG2

7.4.3.3 Combinazione dell'aumento di albedo e della percentuale di verde urbano

La Figura 12 mostra la distribuzione spaziale della differenza di temperatura tra gli scenari "what-if" di combinazione di aumento di albedo e verde urbano e il caso di riferimento nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT. Coerentemente con quanto discusso nelle sezioni precedenti, si osserva un progressivo effetto benefico sui livelli termici per gli scenari con una implementazione più importante delle due tecniche di mitigazione considerate. Come mostra anche la Figura 13, la combinazione di queste due tecniche consente di unire i benefici derivanti dalle due tecniche applicate singolarmente: un calo termico non trascurabile durante la notte (leggermente superiore a 1°C in MD nelle prime ore del mattino) e che raggiunge e supera 1.5°C in valore assoluto in HD nelle ore centrali della giornata.

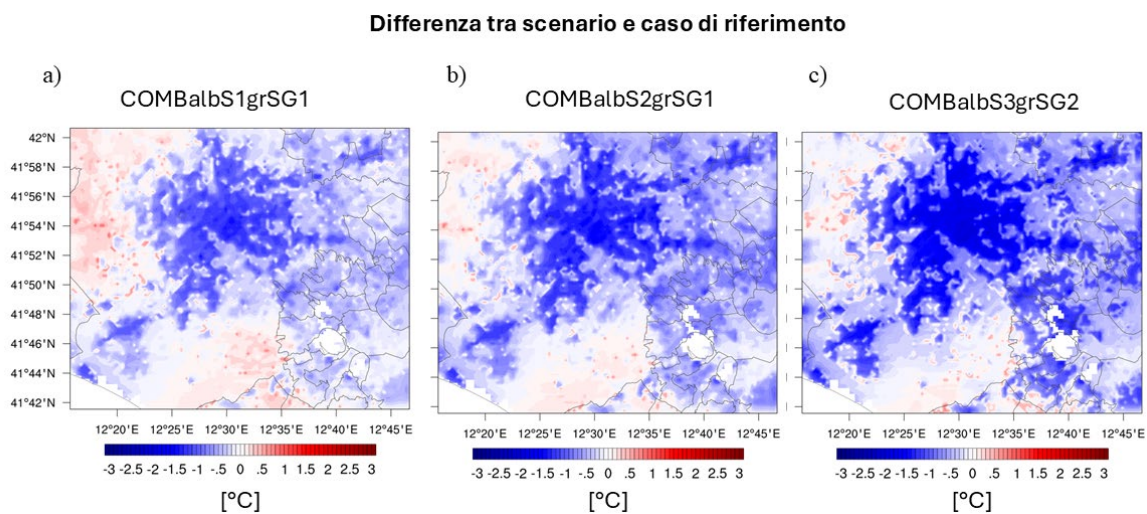


Figura 12. Distribuzione spaziale della differenza tra lo scenario (COMBalbS1grSG1 in a, COMBalbS2grSG1 in b e COMBalbS3grSG2 in c) e il caso di riferimento per la temperatura a 2 metri dal suolo nel dominio a più alta risoluzione alle 14:00 LT

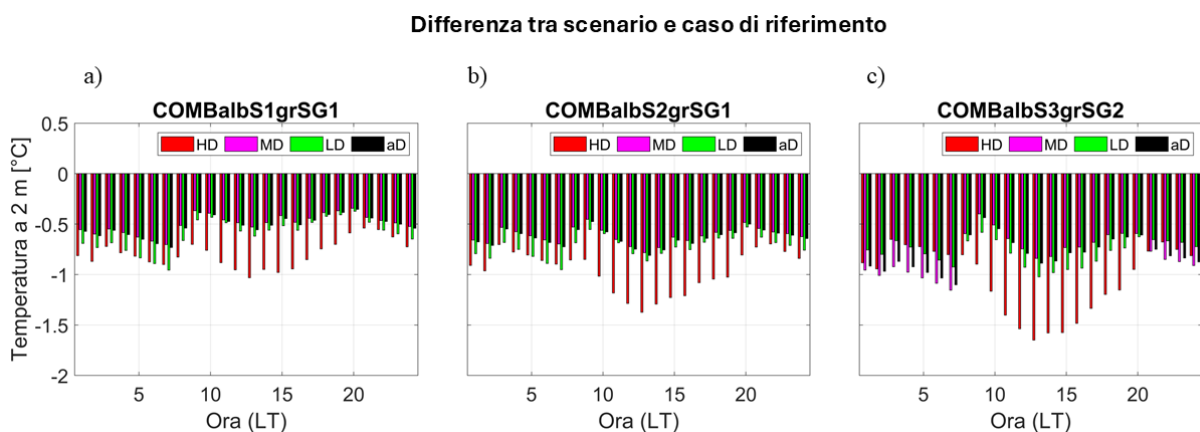


Figura 13. Differenze orarie medie di temperatura a 2 metri nel periodo simulato tra gli scenari di combinazione albedo-percentuale di verde urbano aumentati e il caso di riferimento per diverse densità edilizie (High Density - HD, Middle Density - MD, Low Density - LD): a) COMBalbS1grSG1, b) COMBalbS2grSG1 e c) COMBalbS3grSG2

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno della LA non sono state utilizzate consulenze

9 Pubblicazioni scientifiche

Pubblicazioni scientifiche derivanti dall'attività svolta:

- Articolo in rivista - Falasca Serena, Zinzi Michele, Siani Anna Maria, Curci Gabriele, Ding Lan, Santamouris Mattheos (2024). Investigating the effects of the greenery increase on air temperature, ventilation and cooling energy demand in Melbourne with the weather research and forecasting model and local climate zones. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, vol. 953, p. 1-13, ISSN: 0048-9697, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.176016
- Contributo orale a conferenza - "Impact of the Urban Modified Albedo on the Energy Performance of Buildings. The Case of Rome, Italy" autori M. Zinzi, A.M. Siani, S. Agnoli, S. Falasca. 37th PLEA Conference, 25-28 June 2024, Wroclaw, Poland
- Contributo orale a conferenza - "Exploring the impact of the urban modified albedo on the indoor temperature and the ventilative cooling potential in a typical Italian residential building" autori M. Zinzi, S. Agnoli, S. Romano, A.M. Siani, S. Falasca. 44th AIVC conference "Retrofitting the Building Stock: Challenges and Opportunities for Indoor Environmental Quality", 9-10 October 2024, Dublin, Ireland

10 Eventi di disseminazione

Nono sono scaturiti eventi di disseminazione dall'attività svolta