



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Pianificazione Territoriale,
Urbanistica e Paesaggistico-Ambientale

A.A. 2016/2017

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

INDICATORI DI RESILIENZA, VULNERABILITA' E RISCHIO PER LE HEATWAVES SULLA CITTA' DI TORINO.

TEORIA E PRATICA

Relatore: Prof. Ing. Stefano Ferrari

Correlatore: Giorgio Roberto Pelassa

Candidata: Mara Viassone

ABSTRACT

La ricerca che ha portato alla scrittura di questa tesi è iniziata durante il tirocinio formativo alla Regione Piemonte. Lo scopo della collaborazione tra Politecnico di Torino e Regione Piemonte è infatti la ricerca di strumenti validi per la realizzazione di un piano di adattamento ai cambiamenti climatici. Durante il tirocinio si sono, dunque, analizzate le conseguenze legate al cambiamento climatico, focalizzandosi poi sull'innalzamento delle temperature e sull'aumento della frequenza di eventi estremi, quali le ondate di calore. In seguito è stato possibile svolgere un'approfondita analisi sulla Land Surface Temperature registrata dal satellite TERRA riportando, così, i risultati del confronto delle temperature tra il 2000 e il 2015 e riscontrandone effettivamente un aumento. Successivamente a tale conferma e ad un'analisi maggiormente approfondita sulle ondate di calore, si è riscontrato come le conseguenze più rilevanti siano i decessi, che mettono in pericolo un numero elevato di persone. Si è deciso, così, di analizzare la città di Torino e gli impatti che le ondate di calore hanno sui suoi abitanti. La stima della possibilità del verificarsi di eventi estremi e di conseguenze negative è stata effettuata tramite l'analisi del rischio, una tecnica che permette di valutare il rischio associato alla probabilità del verificarsi di un certo evento, nel caso in questione alla possibile perdita di vite umane. Il rischio, infatti, basa l'analisi sulla moltiplicazione di tre componenti, ovvero il pericolo, la vulnerabilità e l'esposizione. Associati alle componenti vi sono, inoltre, gli indicatori scelti strategicamente per dare significatività alla stima. I risultati sono poi stati riportati su mappa, in grado di dare una rappresentazione immediata del territorio. L'analisi vuole, infatti, consegnare una metodologia efficace per tecnici e pianificatori, in grado di osservare il territorio da un punto di vista nuovo. I cambiamenti climatici sono ormai al centro dell'attenzione per il loro graduale e preoccupante peggioramento e l'analisi del rischio potrebbe assumere il compito fondamentale di indirizzare gli interventi sul territorio, tenendo in stretta considerazione la popolazione. Una tecnica omnicomprensiva che opera per migliorare la pianificazione del passato, del presente e del futuro del territorio e delle persone che ne rappresentano i protagonisti.

INDICE

INTRODUZIONE	1
1. ONDATE DI CALORE.....	12
1.1. Che cosa sono le ondate di calore	12
1.1.1. Due tipologie di ondate di calore.....	12
1.1.1.1. Dry Heathwaves.....	12
1.1.1.2. Moist Heathwaves.....	13
1.1.2. Come vengono definite le ondate di calore.....	13
1.1.2.1. Nel mondo.....	14
1.1.2.2. In Italia	15
1.1.3. Due approcci alle ondate di calore.....	16
1.1.3.1. L’approccio epidemiologico	16
1.1.3.2. L’approccio climatologico	16
1.2. Effetti sulla salute	18
1.2.1. Piano nazionale per la prevenzione degli effetti sulla salute del caldo ..	19
1.2.1.1. I sistemi di allarme HHWWS	19
1.2.1.2. Il sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera (SiSMG).....	23
1.2.1.3. I piani di prevenzione a livello locale	23
1.2.1.4. Le linee guida per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute ...	24
1.2.1.5. L’identificazione dei sottogruppi di popolazione a rischio per gli effetti del caldo	24
1.2.2. I rischi per la salute.....	25
1.2.2.1. Insolazione	25
1.2.2.2. Crampi	25

1.2.2.3.	Edema.....	26
1.2.2.4.	Congestione	26
1.2.2.5.	Disidratazione	26
1.2.2.6.	Effetti sulla pressione arteriosa	26
1.2.2.7.	Stress da calore	27
1.2.2.8.	Colpo di calore	27
1.2.2.9.	Aggravamento di malattie preesistenti	28
1.2.3.	La popolazione più a rischio	29
1.2.3.1.	Persone anziane	29
1.2.3.2.	Neonati e bambini	30
1.2.3.3.	Donne in gravidanza	30
1.2.3.4.	Individui con malattie croniche	30
1.2.3.5.	Persone affette da disturbi psichici.....	31
1.2.3.6.	Soggetti con ridotta mobilità e/o non autosufficienti	31
1.2.3.7.	Persone che assumono farmaci regolarmente.....	31
1.2.3.8.	Persone che fanno uso di alcol e/o droghe	32
1.2.3.9.	Soggetti che praticano lavori intensi e/o sport e/o vivono all'aria aperta	32
1.2.3.10.	Individui in condizioni socio-economiche disagiate	32
1.3.	Un fenomeno sempre piu' frequente	34
1.3.1.	Variabilità climatica	35
1.3.1.1.	Variabilità climatica presente.....	35
1.3.1.2.	Variabilità climatica futura	43
1.4.	Le cause territoriali	49
1.4.1.	Le Isole di Calore Urbano UHI	49
1.5.	Le conseguenze sanitarie: la mortalita' estiva.....	53

1.5.1.	La mortalità estiva in Piemonte.....	55
1.5.1.1.	La mortalità estiva nella città di Torino	57
1.5.1.2.	Il costo sanitario	62
2.	EVOLUZIONE STORICA DELLE TEMPERATURE E DELLE ISOLE DI CALORE DA TELERILEVAMENTO DELLA LAND SURFACE TEMPERATURE	64
2.1.	Telerilevamento della Land Surface Temperature	64
2.1.1.	Misura della LST attraverso il sensore MODIS	65
2.1.1.1.	Specifiche del sensore	65
2.1.1.2.	Che cosa si ottiene dal telerilevamento con il sensore MODIS	69
2.2.	Confronto delle temperature e delle isole di calore per i mesi estivi tra il 2000 e il 2015	70
2.2.1.	Lo scopo e i dati.....	70
2.2.2.	Confronto mesi di giugno (06), luglio (07) e agosto (08) del 2000 e del 2015	70
2.2.2.1.	Giugno (06) 2000 – Da satellite.....	70
2.2.2.2.	Giugno (06) 2015 – Da satellite.....	74
2.2.2.3.	Luglio (07) 2000 – Da satellite.....	76
2.2.2.4.	Luglio (07) 2015 – Da satellite.....	79
2.2.2.5.	Agosto (08) 2000 – Da satellite	82
2.2.2.6.	Agosto (08) 2015 – Da satellite	84
2.2.2.7.	Tabella di confronto tra tutti i mesi analizzati (06, 07 e 08) del 2000 e del 2015	86
2.3.	Normalizzazione dei dati per confronto grafico	88
2.3.1.	Normalizzazione dei dati di giugno (06) del 2000 e del 2015	88
2.3.1.1.	Giugno (06) 2000	88
2.3.1.2.	Giugno (06) 2015	90

2.3.1.3.	Confronto grafico delle immagini di giugno (06) del 2000 e del 2015..	92
2.3.1.4.	Differenza tra le immagini di giugno (06) del 2000 e del 2015	94
2.3.2.	Normalizzazione dei dati di luglio (07) del 2000 e del 2015.....	99
2.3.2.1.	Luglio (07) 2000	99
2.3.2.2.	Luglio (07) 2015	100
2.3.2.3.	Confronto grafico delle immagini di luglio (07) del 2000 e del 2015....	102
2.3.2.4.	Differenza tra le immagini di luglio (07) del 2000 e del 2015.....	104
2.3.3.	Normalizzazione dei dati di agosto (08) del 2000 e del 2015	110
2.3.3.1.	Agosto (08) 2000.....	110
2.3.3.2.	Agosto (08) 2015.....	111
2.3.3.3.	Confronto grafico delle immagini di agosto (08) del 2000 e del 2015..	112
2.3.3.4.	Differenza tra le immagini di agosto (08) del 2000 e del 2015	114
2.4.	Conclusione dell'analisi svolta.....	119
3.	INTRODUZIONE ALL'ANALISI DEL RISCHIO	123
3.1.	Il caso studio e lo scopo dell'analisi.....	123
3.2.	la metodologia utilizzata per la valutazione	126
3.2.1.	Il metodo MOVE (Methods for the Improvement of the Vulnerability Assessment in Europe) per la ricerca degli indicatori	129
3.2.1.1.	La struttura	130
3.2.1.2.	Gli indicatori	131
4.	APPLICAZIONE DELL'ANALISI DEL RISCHIO ATTRAVERSO GLI INDICATORI SUL CASO STUDIO DI TORINO	138
4.1.	indicatori e Documenti tecnici in ausilio alla valutazione del rischio	138
4.2.	Il processo di applicazione degli indicatori	140

4.2.1.	Le basi utilizzate per lo studio	140
4.2.1.1.	Sezioni di censimento, Circoscrizioni e Microsezioni immobiliari ..	140
4.2.1.2.	GRID	143
4.2.2.	Gli indicatori del pericolo e la loro applicazione	145
4.2.2.1.	Land Surface Temperature	147
4.2.2.2.	Temperatura apparente (AT).....	150
4.2.2.3.	Discomfort Index (DI)	156
4.2.2.1.	Humidex (H).....	160
4.2.2.2.	Giorni Tropicali	164
4.2.2.3.	Notti Tropicali	166
4.2.3.	Stima del pericolo	169
4.2.3.1.	Pesatura degli indicatori	171
4.2.3.2.	Somma e classificazione.....	177
4.2.4.	Gli indicatori della vulnerabilità e la loro applicazione	180
4.2.4.1.	Indice di non scolarizzazione	185
4.2.4.2.	Soggetti Soli	192
4.2.4.3.	Stranieri.....	196
4.2.4.4.	Disagio Occupazionale	199
4.2.4.5.	Soggetti Bisognosi di assistenza economica.....	203
4.2.4.6.	Epoca di costruzione degli edifici	209
4.2.4.7.	Consumo di suolo	216
4.2.4.8.	Edifici Produttivi.....	219
4.2.4.9.	Prezzo Medio di Offerta	224
4.2.4.10.	Mancanza di Aree Verdi	229
4.2.4.11.	Bilancio Arboreo scarso	235
4.2.4.12.	Insufficienza di Strutture di Assistenza.....	245

4.2.5.	Stima della Vulnerabilità	251
4.2.5.1.	Pesatura degli indicatori	251
4.2.5.2.	Somma e classificazione	258
4.2.6.	Gli indicatori dell'esposizione e la loro applicazione	261
4.2.6.1.	Densità di popolazione	265
4.2.6.2.	Over 60 Maschi	268
4.2.6.3.	Over 60 Femmine	272
4.2.6.4.	Over 74 Maschi	277
4.2.6.5.	Over 74 Femmine	280
4.2.7.	Stima dell'Esposizione	284
4.2.7.1.	Pesatura degli indicatori	284
4.2.7.2.	Somma e classificazione	288
4.3.	Stima del Rischio	291
5.	VERIFICA DEI RISULTATI ATTRAVERSO IL CONFRONTO CON LA MORTALITÀ RILEVATA	297
5.1.	Lo scopo del confronto	297
5.2.	Il confronto applicato al caso studio	298
5.2.1.	Gli indicatori di riferimento della mortalità	298
5.2.1.1.	Numero di decessi osservati	299
5.2.1.2.	Eccesso di mortalità	302
5.2.2.	La verifica	308
6.	CONCLUSIONI	311
7.	BIBLIOGRAFIA	314
8.	SITOGRAFIA	323
9.	ALLEGATI	328



INTRODUZIONE

Questa tesi è il frutto di una lunga analisi sul territorio di Torino e sulla sua popolazione. Nasce dalla collaborazione tra il Politecnico di Torino e la Regione Piemonte, data la necessità di valutare il cambiamento climatico e l'esigenza di redigere un piano per l'adattamento al cambiamento climatico. Si è svolta, dunque, una ricerca che ha interessato l'evoluzione del clima e in particolare le ondate di calore, un fenomeno climatico estremo che negli ultimi anni ha colpito la città. Non si può definire, però, solamente un'indagine ma un processo, poiché oltre allo studio teorico rivolto a tali eventi, inizialmente molto utile per approcciarsi al problema e per capirne le conseguenze, il passaggio successivo è stato svolgere l'applicazione di un'analisi pratica sul territorio di Torino. Tale analisi è rappresentata dall'analisi del rischio, con lo scopo di zonizzare i decessi dovuti alle ondate di calore nell'estate del 2015 e, quindi, in quale area di Torino il rischio, che la popolazione corre durante i mesi estivi a causa delle temperature estreme, è maggiore e dove, invece, si presenta minore. La tesi è stata, per questo motivo, suddivisa in due parti consecutive. La prima come dice il titolo "Teoria ed evoluzione delle ondate di calore" spiega che cosa sono, quali effetti hanno sulla popolazione e i soggetti più esposti, proseguendo poi esprimendo la preoccupazione per l'evoluzione futura di tali fenomeni estremi e l'aumento di morti. Particolari indici climatici prevedono, infatti, un peggioramento delle ondate di calore, con temperature decisamente elevate. Già nel 2015 le temperature estive hanno, infatti, superato gli anni precedenti. Questo fatto riflette, perciò, la necessità di studiare le città e di capire dove la popolazione è più a rischio, in maniera tale da poter migliorare la morfologia e l'adattamento del territorio e con lo scopo di diminuire le conseguenze negative nei soggetti esposti. Un capitolo è stato dedicato, inoltre, alle principali cause che nascono dal territorio e incidono sul sorgere delle ondate di calore, una in particolare è riconoscibile nelle isole di calore. A seguire è stato posto un forte accento sulle conseguenze sanitarie provocate dalle ondate di calore. La quantità elevata di decessi non possiede, infatti, solo un costo sociale ma anche uno sanitario, dovuto alle prestazioni ospedaliere fornite alla popolazione nel momento di difficoltà. In Piemonte, infatti, i ricoveri e i decessi dovuti a temperature estreme, nel 2015 hanno superato di gran lunga il decennio precedente.



Legato al problema delle ondate di calore e alle temperature estreme crescenti, il capitolo seguente ha affrontato l'evoluzione storica delle temperature, spiegata attraverso l'uso della tecnica del telerilevamento. Un lavoro pratico svolto durante il tirocinio alla Regione Piemonte e grazie all'aiuto dell'Arpa, utile al riconoscimento dell'aumento delle temperature dal 2000 al 2015. Si sono, infatti, confrontati i mesi di giugno, luglio e agosto di questi due anni mediante l'utilizzo del telerilevamento dal satellite della Nasa TERRA, che registra le temperature superficiali del suolo. Il dato su cui si è andati a lavorare è stato, infatti, il Land Surface Temperature. In seguito all'elaborazione sul dato primario, sono state messe a confronto le informazioni per comprendere se effettivamente le temperature sono cresciute. Tra le molte difficoltà affrontate il risultato ha comunque evidenziato un aumento generale progressivo.

La seconda parte della tesi intitolata, invece, "Applicazione dell'analisi del rischio alle ondate di calore nell'ambito urbano della città di Torino" fonda le sue radici sulla necessità di studiare il territorio e la reazione degli abitanti che lo popolano alle temperature estreme. Sono stati presi in considerazione una vasta gamma di indicatori, disponibili grazie alle banche dati open. Sono stati elaborati al fine di raggiungere una rappresentazione univoca e comparabile, per poter realizzare la componente del pericolo, della vulnerabilità e dell'esposizione. Queste tre componenti moltiplicate tra loro daranno vita, infatti, al rischio. Fattore che comprende al suo interno anche le variabili dell'adattamento formando una raffigurazione del potenziale impatto delle ondate di calore sul territorio associato alla resilienza presente. Insomma uno specchio degli aspetti positivi e di quello negativi nell'area urbana torinese. Inoltre grazie alla tecnica utilizzata denominata con l'acronimo inglese PCA (Analisi delle Componenti Principali) è stato possibile ottenere un risultato più tecnico e più realistico. Si sono assegnati, infatti, i pesi ad ogni indicatori seguendo le statistiche consegnate dalla PCA, risultandone così dei dati maggiormente significativi. Una pesatura totalmente soggettiva avrebbe potuto, infatti, condurre a degli errori grossolani, rendendo così il riscontro con la metodologia delle componenti principali necessaria. A seguito della stima del rischio si è deciso per capire la bontà del risultato di confrontarlo con le vittime over 65 anni delle ondate di calore, quantificate sul territorio. In particolare si sono assunti i valori in eccesso del 2015 rispetto al media



calcolata su 15 anni, dal 2001 al 2015. Tale verifica ha portato ad un risultato che presenta tra i suoi difetti una veridicità riflessa dalle peculiarità espresse dalla città. Quasi un identikit che individua attraverso i propri indicatori il potenziale impatto sulla popolazione e l'eventuale resilienza sviluppata dalla stessa.

Nella conclusione è stata espressa, inoltre, l'aspirazione di trasformare l'analisi del rischio elaborata in questa tesi, in una metodologia applicabile nei differenti contesti della regione Piemonte e non solo ai capoluoghi di provincia ma a qualsiasi nucleo urbano anche minore, che presenta effetti negativi dovuti alle temperature estreme. La possibilità, insomma, si allargare i confini oltre la città di Torino. Una speranza che consentirebbe di convertire la ricerca effettuata, in una tecnica di valutazione ex ante a qualsiasi intervento di pianificazione, dalla riqualificazione alla costruzione ex novo. La valutazione dell'analisi del rischio e dell'eccesso di mortalità darebbe sfogo ad una pianificazione pensata e migliore del passato, in grado di incorporare la problematica delle ondate di calore, ormai cogente, nei piani e nelle nuove strategie della città. Bisogna focalizzarsi, infatti, sul fatto che le temperature estreme sono un fenomeno in crescita che comporterà sempre più decessi se non si prendono dei provvedimenti immediati.

I PARTE

TEORIA ED EVOLUZIONE DELLE ONDATE DI CALORE



1. ONDATE DI CALORE

1.1. CHE COSA SONO LE ONDATE DI CALORE

Le ondate di calore sono delle condizioni metereologiche estreme costituite da caldo intenso per alcuni giorni consecutivi oppure settimane. Si verificano durante il periodo estivo quando le temperature si innalzano bruscamente e superano i livelli abituali per almeno due giorni consecutivi. Per riconoscere un'ondata di calore bisogna considerare non solo valori di temperatura molto alta ma anche di umidità relativa, che comportano indici di discomfort elevati per la popolazione. Le ondate di calore, infatti, influiscono sul benessere e sullo stato di salute degli individui, poiché soprattutto all'inizio della stagione estiva, quando ancora non si sono sviluppati adeguati meccanismi di difesa e adeguamento, le condizioni estreme di caldo possono portare a conseguenze fisiche negative fino al decesso nella fascia di popolazione più debole. Le ondate di calore non sono, quindi, da sottovalutare. Un heat stress index (indice di stress da caldo) molto alto comporta un rischio elevato. È perciò indispensabile che il fenomeno sia tenuto sotto controllo dai tecnici e dalle autorità attraverso piani di azione e prevenzione.

1.1.1. DUE TIPOLOGIE DI ONDATE DI CALORE

Nel 2015 vengono redatte le Linee Guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità sulle Ondate di Calore e sulla Salute, da parte dell'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO, World Meteorological Organization) e dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, World Health Organization), con la collaborazione di numerosi esperti in materia. Secondo questo documento, intitolato "Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development", le ondate di calore possono essere classificate in due tipologie: le Dry Heathwaves ovvero le ondate di calore da caldo asciutto e le Moist Heathwaves, ovvero le ondate di calore da caldo umido.

1.1.1.1. Dry Heathwaves

In questo caso le ondate di calore sono associate a periodi con clima stabile che comportano cieli limpidi e grandi apporti di radiazione solare. Queste condizioni di caldo asciutto possono essere accompagnate da condizioni ventose che innalzano il



livello di stress da calore. I climi favorevoli, nei quali abitualmente si verificano, sono quelli continentali o mediterraneo che comportano rispettivamente una grande escursione termica tra inverno ed estate e temperature elevate nel periodo estivo.

1.1.1.2. Moist Heathwaves

Le Moist Heathwaves sono, invece, caratterizzate da un caldo estremo e oppressivo, da condizioni di umidità elevata sia di giorno che di notte, spesso accompagnate da una copertura nuvolosa notturna. Fattore che impedisce la diminuzione di calore accumulato durante il giorno attraverso il rilascio notturno. Le zone che presentano queste condizioni appartengono solitamente a climi temperati delle medie latitudini e a climi marittimi. Queste ondate di calore possono diventare addirittura endemiche in alcune zone.

Secondo le caratteristiche elencate prima, appare ovvio che entrambe le tipologie di ondate di calore si verificano più frequentemente nelle aree del pianeta che possiedono un clima estivo molto variabile o una stagione estiva molto calda. Ciò non vuol dire che le altre zone ne siano immuni. Determinate condizioni climatiche oceaniche, terrestri e atmosferiche possono favorire contesti adatti allo sviluppo di eventi a breve termine ma intensi con episodi di temperatura e umidità estreme. Anche la durata dell'evento dipende nella maggior parte dei casi dalla configurazione climatica delle differenti aree del pianeta. In generale, quindi, è fondamentale capire la tipologia climatica della zona per poter comprendere la durata e l'intensità dell'ondata di calore e poter intervenire sugli effetti negativi per la popolazione.

1.1.2. COME VENGONO DEFINITE LE ONDATE DI CALORE

Trovare una definizione univoca sulle ondate di calore non è comunque facile. Questo fenomeno dipende, infatti, da parametri meteo-climatici (temperatura, umidità, insolazione etc.), fisico-geografici (latitudine, altitudine, ambiente costiero, continentale etc.) e sociale-istituzionale (stato di salute della popolazione, condizione economica, grado di efficienza delle istituzioni etc.).



1.1.2.1. Nel mondo

Le Linee Guida OMS sulle Ondate di Calore e sulla Salute, intitolate Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development e realizzate nel 2015 dall'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO, World Meteorological Organization) e dalla World Health Organization con il contributo di molti esperti mondiali, non fornisce in realtà una definizione standard. Questo, poiché, come descritto anche in precedenza, le ondate di calore dipendono dalle condizioni climatiche di base delle specifiche aree del pianeta dove avvengono e non è, quindi, possibile stabilire una temperatura soglia di rischio valida ovunque. In generale le Linee Guida parlano, invece, di ondate di calore come un "intenso pericolo naturale che può avere pesanti effetti negativi sul sistema umano, colpendo la salute, il sistema economico e le infrastrutture. Anche i sistemi naturali possono risentire gravemente degli impatti dovuti alla prolungata durata dell'ondata di calore", "periodi di insolito clima caldo asciutto oppure caldo umido che ha un inizio acuto e una fine con la durata di almeno due o tre giorni con un impatto percepibile sulle attività umane". In questi periodi non solo le temperature diurne raggiungono valori alti ma anche le temperature notturne e i livelli di umidità che possono aumentare ben oltre la loro media a lungo termine. In particolare la WMO descrive le ondate di calore come "il superamento di un valore soglia di temperatura definito attraverso il 10% (90° percentile) o il 5% (95° percentile) dei valori più alti presenti nelle serie storiche dei dati registrati in quella determinata zona". "Per almeno sei giorni consecutivi la temperatura massima deve essere, quindi, superiore al 90° percentile di quel giorno rispetto al periodo climatologico di riferimento compreso tra il 1961 e il 1990 oppure il 1971 e il 2000". Per definire un'ondata di calore non vengono, quindi, analizzate solo le temperature diurne e notturne, ma anche i livelli di umidità relativa che influenzano molto la percezione umana del caldo. Oltre a questi due parametri è fondamentale considerare anche la durata dell'ondata di calore. Un evento molto prolungato provoca, infatti, effetti negativi più accentuati sulla salute delle persone, rispetto a uno di media durata.

Le Linee Guida dell'OMS mettono in luce un altro aspetto importante sulle ondate di calore. Gli effetti negativi di queste condizioni climatiche estreme sono esasperate nelle grandi aree urbane a causa dell'isola di calore che si forma quando l'irradiazione



del sole è immagazzinata nei fabbricati urbani durante il giorno e lentamente il calore viene rilasciato nella notte nell'ambiente circostante. Il risultato è un evidente aumento della temperatura notturna che impedisce alla città di rinfrescarsi nella notte e peggiora le condizioni climatiche diurne. L'assenza di raffreddamento notturno aumenta le temperature massime in maniera consecutiva per più giorni, dando vita all'evento dell'ondata di calore o addirittura peggiorandone la situazione in atto. L'isola di calore ha, quindi, importanti implicazioni non solo per gli abitanti ma anche per il sistema biofisico urbano.

1.1.2.2. In Italia

In Italia una definizione abbastanza diffusa, tra gli enti e gli studiosi preposti al tema, stabilisce due diversi tipi di ondate di calore, che basano la loro differenza sulla durata. Quella di breve durata si verifica quando, dai tre fino a sei giorni consecutivi, la temperatura media giornaliera è superiore alla deviazione standard (misurata sul periodo 1961-1990 o 1971-2000 per un giorno) rispetto alla temperatura media giornaliera normale (calcolata per tutto il mese). Mentre quella di lunga durata prevede che questa condizione climatologica persista per almeno sette giorni consecutivi (<http://lamma.toscana.it/news/ondate-di-calore-quali-definizione>).

La Protezione Civile definisce, invece, le ondate di calore come "condizioni meteorologiche estreme che si verificano durante la stagione estiva, caratterizzate da temperature elevate, al di sopra di valori usuali, che possono durare giorni o settimane".

L'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (Arpa Piemonte) descrive, invece, le ondate di calore come un evento climatologico che deriva dalla combinazione di variabili meteorologiche quali l'elevata temperatura, l'alto valore di umidità relativa, la scarsa velocità del vento e i giorni consecutivi di caldo intenso. L'Arpa, inoltre, adotta sistemi informativi in grado di comunicare alla popolazione i rischi di una eventuale ondata di calore. Combinando i dati relativi ai valori meteorologici con le informazioni di tipo sanitario sugli eccessi di eventi sanitari, l'agenzia emette e diffonde i bollettini previsionali delle ondate di calore, specificando il livello di rischio, in modo che le persone siano informate e soprattutto la fascia di popolazione più fragile possa



adottare misure di prevenzione con comportamenti responsabili. L'effetto delle ondate di calore è, infatti, immediato, osservando una differenza di uno, massimo tre giorni, tra il rapido aumento della temperatura e il conseguente incremento degli accessi ospedalieri e dei decessi.

L'Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile dell'Emilia Romagna illustra le ondate di calore puntando il dito su un indicatore che esprime le temperature elevate, ovvero l'indice di Thom. Esso caratterizza il "disagio bioclimatico" dell'organismo umano alle situazioni di caldo umido intenso portato dalle ondate di calore.

1.1.3. DUE APPROCCI ALLE ONDATE DI CALORE

Per definire un'ondata di calore vi sono due approcci possibili. Uno prende in considerazione l'aspetto epidemiologico, l'altro l'aspetto climatologico.

1.1.3.1. L'approccio epidemiologico

L'approccio epidemiologico si interessa agli effetti che le alte temperature hanno sulla salute della popolazione. Il mezzo più efficace, per lo studio delle conseguenze negative sulla salute umana, è il valore soglia assoluto di temperatura oppure quello percepito di temperatura, oltre al quale si analizzano gli eccessi di casi di ricovero ospedaliero o di decesso. La temperatura percepita combina valori di temperatura, di umidità e vento. Non è, però, possibile trovare una definizione comune poiché la percezione del caldo cambia da paese a paese, dato il diverso adattamento delle persone. In climi già caldi ovviamente un evento di caldo estremo è meno sentito che in un clima freddo.

1.1.3.2. L'approccio climatologico

Questo approccio nasce in tempi più recenti per la necessità di uniformare a livello internazionale il concetto di ondata di calore. L'esigenza è anche quella di confrontare gli studi effettuati e i risultati ottenuti per capire quali siano i metodi più efficaci per combattere il caldo estremo. Questo approccio è stato utilizzato dal WMO, Organizzazione Mondiale della Meteorologia e dal CLIVAR, Programma di Ricerca



Politecnico di Torino

Tesi di L.M. in Pianificazione Territoriale, Urbanistica e-Paesaggistico-Ambientale

Indicatori di resilienza, vulnerabilità' e rischio per le heatwaves sulla città di Torino. Teoria e pratica

Viassone Mara

sulla Vulnerabilità e la Prevedibilità Climatica per compilare una lista sugli indici climatici estremi, tra i quali emerge ovviamente l'ondata di calore.



1.2. EFFETTI SULLA SALUTE

Le ondate di calore provocano condizioni climatiche sfavorevoli soprattutto nell'ambiente urbano con gravi implicazioni sugli abitanti. Le temperature molto elevate per più giorni consecutivi, tassi di umidità molto elevati, assenza di ventilazione e il forte irraggiamento solare rappresentano, quindi, un rischio per la salute della popolazione. Come descritto nell'ultima conferenza sui cambiamenti climatici, eventi estremi e misure di adattamento e mitigazione, tenutasi a Palermo il 23 giugno 2017, le ondate di calore influiscono negativamente sulla salute della popolazione soprattutto in condizioni urbane dove un ruolo importante è giocato da diversi fattori. Alcuni tra i più decisivi sono: "la struttura urbana come altezza dei palazzi, densità abitativa, presenza o mancanza di verde, alto traffico e conseguente inquinamento da PM10 che aumenta l'effetto isola di calore; l'organizzazione della mobilità e dei trasporti pubblici; le misure di adattamento come aria condizionata e parchi pubblici ed infine l'informazione diffusa tra cittadini e la consapevolezza dei rischi" (Michelozzi P., 2017).

L'Intergovernmental Panel on Climate Change ([IPCC](#)) ha dimostrato nell'ultimo e quinto rapporto sul cambiamento climatico come nel futuro gli eventi climatici estremi, comprese le ondate di calore, saranno sempre più intensi e frequenti. Questi fenomeni incideranno profondamente sulla salute della popolazione mondiale residente nelle aree urbane. L'Organizzazione mondiale della sanità ([OMS](#)) ipotizza, infatti, che questa situazione possa portare a maggiori disegualianze sociali e senza misure di prevenzione potrebbe diventare una delle emergenze sanitarie in futuro. Per questo motivo nelle Linee Guida sulle ondate di calore dell'OMS viene puntato il dito sulle strategie a breve e lungo termine come efficaci metodi per diminuire le conseguenze negative da caldo. Le più importanti sono: i sistemi di allarme delle ondate di calore, le misure di protezione e l'attenzione verso la salute dei cittadini dal caldo estremo e i piani di azione per gli eventi di ondate.



1.2.1. PIANO NAZIONALE PER LA PREVENZIONE DEGLI EFFETTI SULLA SALUTE DEL CALDO

In Italia il Ministero della Salute ha avviato nel 2005 lo sviluppo del Piano Nazionale per la prevenzione degli effetti sulla salute dal caldo, coordinato dal Centro di competenza nazionale Dipartimento di Epidemiologia SSR Regione Lazio (DEP Lazio) e attraverso la collaborazione con il Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (Ccm). Lo scopo è stato quello di favorire la cooperazione istituzionale e fornire linee operative per la creazione di un sistema centralizzato di previsione e prevenzione degli effetti del caldo sulla salute. Dal 2009 il piano è stato, infatti, incluso nelle Azioni Centrali dei Programmi e Progetti del Ccm. Le principali componenti del Piano sono i sistemi di allarme HHWWS, il sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera (SiSMG), i piani di prevenzione a livello locale, le linee guida per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute e l'identificazione dei sottogruppi di popolazione a rischio per gli effetti del caldo.

1.2.1.1. I sistemi di allarme HHWWS

I sistemi di allarme HHWWS (Heat Health Watch Warning System) sono sistemi in grado di prevedere da 24 fino a 72 ore prima le condizioni climatiche che possono mettere a rischio la salute della popolazione. Realizzati per città specifiche tra le quali Torino, i risultati vengono riportati in un bollettino che contiene le previsioni metereologiche e un livello di allarme dall'1 al 3, che permette di valutare gli interventi di prevenzione in base al livello di rischio previsto.

Legenda: ● Livello 0 - ● Livello 1 - ● Livello 2 - ● Livello 3



Figura 1-1: Bollettino sulle ondate di calore per le 34 città, consultabile sul sito del Ministero della Salute, riportante i livelli di rischio per tre giorni (dal 31/07/2017 al 02/08/2017)

[<http://www.salute.gov.it/portale/caldo/bollettiniCaldo.jsp?lingua=italiano&id=4542&area=emergenzaCaldo&menu=vuoto&btnBollettino=ULTIMO+BOLLETTINO>]



Come si vede dalla figura 1-1, i livelli di rischio sono quattro dallo 0 al 3 e rappresentano significati specifici. Il sito del Ministero della Salute sulle ondate di calore riporta, infatti, sulla pagina “Livelli di rischio, cosa fare”, il senso di ogni livello e per ognuno di essi i consigli su come comportarsi.

Per quanto riguarda il livello 0, esso rappresenta delle condizioni metereologiche che non sono in grado di mettere a rischio la salute della popolazione. I consigli riportati sono di consultare ogni giorno il bollettino, di migliorare il microclima della casa e del posto di lavoro attraverso schermature e isolamento termico, di seguire un'alimentazione adeguata e leggera facendo attenzione alla corretta conservazione degli elementi deperibili. Il livello 1, invece, rappresenta un pre-allarme indicando, così, condizioni metereologiche che possono precedere l'avvento di un'ondata di calore. Non richiede azioni immediate, ma di prevedere il possibile futuro caldo estremo. I consigli sono di consultare i bollettini previsionali ogni giorno, di programmare i viaggi controllando i bollettini previsionali per il luogo di destinazione, di pianificare le scorte di acqua, cibo e medicinali, di identificare la stanza più fresca della giornata per trascorrere le ore più calde della giornata, di informarsi sulla presenza nel quartiere di locali pubblici climatizzati dove poter trascorrere alcune ore della giornata, di prendersi cura degli anziani che vivono soli e se necessario segnalarne la presenza ai servizi socio-sanitari adeguati. Il livello 2 indica condizioni meteorologiche che possono rappresentare un rischio per la salute, in particolare nei sottogruppi di popolazione più suscettibili. I consigli relativi sono di consultare giornalmente il bollettino previsionale, di evitare l'esposizione solare durante le ore più calde della giornata, in particolare dalle 11:00 alle 18:00, di evitare le zone urbane molto trafficate e i parchi o aree verdi dove vengono registrate alte quantità di ozono, pericoloso soprattutto per bambini piccoli, anziani, asmatici e invalidi, di evitare l'attività fisica all'aria aperta durante le ore più calde della giornata, di utilizzare correttamente condizionatore e ventilatore, restando nelle ore più calde in ambienti della casa freschi o in locali pubblici climatizzati, di proteggere la pelle e indossare indumenti leggeri, soprattutto la testa, di bere liquidi e di consumare cibi leggeri, di conservare correttamente i farmaci, di non mettersi in viaggio in macchina nelle ore più calde se il veicolo non è climatizzato, di non lasciare persone non autosufficienti in macchina anche per brevi periodi e di offrire

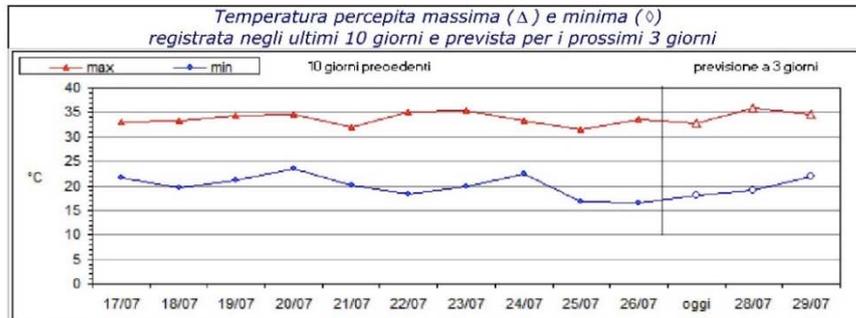


assistenza alle persone in difficoltà. Il livello 3, infine, indica, in presenza di ondata di calore, condizioni di emergenza non solo per i sottogruppi a rischio come gli anziani, i bambini molto piccoli e le persone affette da malattie croniche ma anche per persone sane e attive con possibili effetti negativi sulla salute.

Particolare attenzione va riservata al caso di Torino, dove il bollettino sulle ondate di calore è redatto dall'Agenzia Regionale per la protezione ambientale (Arpa) ed è, perciò, composto in modo differente rispetto a quelli delle altre città. Nella parte superiore riporta, infatti, un grafico rappresentante la temperatura percepita massima e minima registrata negli ultimi dieci giorni e prevista per i prossimi tre giorni. Mostra poi una fascia relativa al meteo e una sulla salute. La prima elenca alcune misure come il tipo di caldo che può essere secco, afoso, torrido, asfissiante, opprimente e da colpo di calore, la temperatura massima, l'umidità media giornaliera, la temperatura percepita massima e minima, massimo ozono orario, il livello di ozono giornaliero e i giorni consecutivi di caldo. Questi vengono utilizzati per definire l'indice sintetico da stress da calore (Heat Stress Index), ovvero quanto la popolazione è abituata a quelle condizioni meteorologiche, diventando così il primo interruttore per la valutazione del rischio. È costituito da valori numerici che sono classificati in basso da 0 a 6.9, medio da 7 a 8.9, alto da 9 a 9.5 ed estremo maggiore di 9.5. L'altro indicatore rilevante che deriva da quelli elencati precedentemente è il disagio bioclimatico estivo classificato in fresco, caldo, molto caldo o estremo caldo. Nell'ultima parte vengono invece redatti i livelli di rischio che corrispondono a: nessun allarme 0, non sono previste condizioni critiche; attenzione 1, condizioni meteorologiche sfavorevoli e/o eventi sanitari in eccesso (+30% rispetto agli attesi); allarme 2, condizioni meteorologiche estreme e/o eventi sanitari in eccesso (+100% rispetto agli attesi); emergenza 3, livello di rischio allarme per più di due giorni consecutivi. In figura 1-2 si può vedere la composizione del bollettino di Torino così come descritto sopra, redatto dall'Arpa per i giorni 27, 28 e 29 luglio 2017.



Emissione: ore 13 del 27/07/2017



	27/07/2017	28/07/2017	29/07/2017
METE			
Tipo di caldo	-	-	torrido
Temperatura massima (°C)	33	35	34
Umidità media giornaliera (%)	37	50	59
Temperatura percepita massima (°C)	33	36	35
Temperatura percepita minima (°C)	18	19	22
Massimo ozono orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	n.d.	n.d.	n.d.
Livello Ozono giornaliero (da 0 a 3)	1	1	1
Giorni consecutivi di caldo	0	1	2
Indice sintetico stress da calore Heat Stress Index (0-10)	2.2	6.2	8.4
Disagio bioclimatico estivo			

	27/07/2017	28/07/2017	29/07/2017
SALUTE			
Eccesso di eventi sanitari			

	27/07/2017	28/07/2017	29/07/2017
LIVELLI RISCHIO	Nessun Allarme	Attenzione	Attenzione
	0	1	1

LEGENDA

Tipi di caldo possibili	Secco, afoso, torrido, asfissiante, opprimente, da colpo di calore			
Giorni consecutivi di caldo	Numero di giorni consecutivi con temperatura percepita massima > valore climatologico di una deviazione standard			
Heat Stress Index (0-10)	Indice sintetico per la misura dello stress da calore relativo al clima di Torino del periodo		0 - 6.9	7 - 8.9
	basso	medio	alto	estremo
LIVELLI DI RISCHIO				
Nessun allarme	Non sono previste condizioni critiche			
Attenzione	Condizioni meteorologiche sfavorevoli, e/o eventi sanitari in eccesso (+30% rispetto agli attesi)			
Allarme	Condizioni meteorologiche estreme, e/o eventi sanitari in eccesso (+100% rispetto agli attesi)			
Emergenza	Livello di rischio "ALLARME" per più di 2 giorni consecutivi			
Tipi di rischio		previste condizioni di caldo, molto caldo o estremo caldo		previsto eccesso di eventi sanitari
Livelli Ozono: www.arpa.piemonte.it/bollettini/bollettino_ozono.pdf				
0	concentrazione <110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per otto ore e <180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'ora; non sono necessarie particolari raccomandazioni.			
1	concentrazione >110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per otto ore oppure >180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'ora. Soggetti sensibili o a rischio devono evitare attività fisica anche moderata all'aperto, in particolare nelle ore più calde e di massima insolazione.			
2	concentrazione >140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per otto ore oppure >240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'ora. Soggetti sensibili o a rischio devono evitare qualsiasi attività fisica all'aperto. Soggetti mediamente sensibili devono evitare attività fisica intensa. Per i soggetti sani, è consigliabile evitare attività fisica.			
3	concentrazione >220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per otto ore oppure >360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'ora. Soggetti sensibili o a rischio devono evitare di uscire di casa e di svolgere qualsiasi attività fisica all'aperto. Stop all'attività fisica moderata per soggetti mediamente sensibili. Per tutti è consigliabile evitare attività fisica.			

Il Bollettino è valido anche per i comuni di: BEINASCO, BORGARO TORINESE, COLLEGGNO, GRUGLIASCO, MONCALIERI, NICHELINO, ORBASSANO, RIVALTA DI TORINO, RIVOLI, SAN MAURO TORINESE, SETTIMO TORINESE e VENARIA REALE.



Figura 1-2: Bollettino previsionale di Torino redatto dall'Arpa per i giorni 27, 28 e 29 luglio 2017
 [http://www.salute.gov.it/portale/caldo/bollettiniCaldo.jsp?lingua=italiano&id=4542&area=emergenzaCaldo&menu=
 =vuoto&btnBollettino=ULTIMO+BOLLETTINO].



1.2.1.2. Il sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera (SiSMG)

Il sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera (SiSMG) ricostruisce attraverso le denunce di decesso inviate nelle 72 ore successive la mortalità giornaliera, monitorando così in tempo reale il numero di decessi giornalieri tra la popolazione, soprattutto tra gli anziani che superano i 65 anni di età. In cooperazione con l'Ufficio Anagrafe dei Comuni, è in grado di ottenere i dati della mortalità durante tutto l'anno con l'aiuto di un sistema online. Il DEP Lazio, invece, monitora le conseguenze sulla salute della popolazione delle ondate di calore intersecandone l'avvento con la mortalità giornaliera conseguente, mediante l'uso di un database. Nelle grandi urbane, come Torino ad esempio, è presente, inoltre, un Sistema di Sorveglianza degli accessi agli ospedali che attraverso delle strutture sentinella monitora i ricoveri ospedalieri giornalieri, che abbiano come esito il decesso oppure no. Questo permette di controllare che la risposta all'emergenza ondate di calore, da parte delle strutture di Pronto Soccorso sia tempestiva ed efficace. Anche in questo caso lo strumento più efficace appare il database che registra gli accessi giornalieri e viene gestito dal DEP Lazio. Per ogni stagione estiva, così, vengono redatti rapporti mensili e stagionali che riportano in sintesi le conseguenze delle ondate di calore sulla popolazione urbana.

1.2.1.3. I piani di prevenzione a livello locale

I Piani di prevenzione a livello locale rappresentano le iniziative che le 34 città coinvolte, tra le quali Torino, mettono in atto per garantire la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute della popolazione. Ogni estate, infatti, il Ministero della Salute raccoglie le informazioni sui piani locali di prevenzione e i protocolli di emergenza che le 34 città attivano sul loro territorio. Viene, quindi, sottoposto ai referenti locali delle Regioni, delle Asl e dei Comuni, un questionario riferito a tre specifiche argomentazioni: la prima riguarda le informazioni diffuse sul territorio locale dal bollettino prodotto dal sistema di allarme (nel caso di Torino il bollettino previsionale sulle ondate di calore dell'Arpa); la seconda si riferisce all'identificazione dei soggetti suscettibili alle ondate di calore, ovvero quelli più a rischio e la terza, infine, verifica i piani di prevenzione locale. Inoltre, per incentivare lo scambio di conoscenze ed esperienze tra le istituzioni locali, favorendo l'integrazione e la condivisione di pratiche vincenti, annualmente vengono identificati i responsabili dei suddetti piani di



prevenzione e i referenti del coordinamento degli interventi sociali e sanitari di prevenzione degli effetti del caldo sulla salute. Vengono fornite, perciò, nuove idee per la programmazione e la progettazione ai vari livelli operativi, migliorando la collaborazione tra istituzioni locali e operatori sanitari.

1.2.1.4. Le linee guida per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute

Le linee guida per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute sono racchiuse in un documento periodicamente aggiornato che contiene due argomentazioni: la prima corrisponde ad una sintesi sui fattori di rischio associati al caldo, delle conseguenze delle ondate di calore sulla salute e degli interventi preventivi attuati dalle Asl e dai comuni in generale; la seconda coincide a modelli e strumenti scientifici per la messa a punto di piani di prevenzione in ambito sanitario, differenziati per livello di rischio e livello di suscettibilità della popolazione. Inoltre, sono state definite delle raccomandazioni specifiche per i sottogruppi di popolazione più a rischio.

1.2.1.5. L'identificazione dei sottogruppi di popolazione a rischio per gli effetti del caldo

L'identificazione dei sottogruppi di popolazione a rischio per gli effetti del caldo consiste nell'individuare le fasce di persone più a rischio per le conseguenze del caldo estremo. Studi epidemiologici da parte del CCM (il centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie) hanno, infatti, rilevato che durante le ondate di calore alcune persone sono più vulnerabili e perciò è importante indirizzare le risorse disponibili verso questa parte della popolazione in difficoltà e definire specifiche misure di prevenzione. Per la definizione della fascia di popolazione suscettibile e un più rapido intervento di prevenzione e di assistenza, in diverse città, tra le quali anche Torino, sono attivi dei servizi locali sia sanitari, come le Asl, sia socio-assistenziali, forniti dal Comune stesso, che forniscono sistemi informativi che sono in grado di ricreare un'anagrafe di persone a rischio. Questi sistemi consistono in: archivi nominativi degli assistiti, dei ricoveri, delle prestazioni ambulatoriali, delle prescrizioni farmaceutiche, delle esenzioni sanitarie per patologia trattata, dell'invalidità civile, dell'assistenza domiciliare...etc.).



1.2.2. I RISCHI PER LA SALUTE

Le ondate di calore in generale rappresentano un rischio per la salute siccome fanno registrare temperature molto elevate per più giorni consecutivi, spesso associate a tassi di umidità elevati, forte irraggiamento solare e assenza di ventilazione. Queste condizioni provocano alterazioni nel sistema di regolazione della temperatura corporea, soprattutto nelle persone già a rischio. Normalmente, infatti, il corpo si raffredda sudando, ma in certe condizioni ambientali e metereologiche ciò non basta per mantenere il corpo in perfetto equilibrio. Se, infatti, ad esempio l'umidità è molto elevata il sudore non riesce ad evaporare velocemente e il calore corporeo non viene eliminato efficacemente, così aumentando velocemente. Questa rapida crescita può danneggiare organi vitali e il cervello stesso. Un'esposizione di lunga durata a temperature elevate può provocare, quindi, disturbi lievi quali svenimenti, crampi, edemi, oppure disturbi maggiori e importanti, come congestione, colpo di calore, disidratazione. Ovviamente per le persone con patologie preesistenti le condizioni di caldo estremo ne aggravano la situazione di salute.

1.2.2.1. Insolazione

L'insolazione è una condizione patologica provocata da una lunga esposizione del corpo umano alle radiazioni solari, soprattutto nelle giornate con temperature elevate con assenza di ventilazione e in particolare quando l'esposizione avviene con capo scoperto. Questo causa un aumento della temperatura corporea a causa dell'insufficiente termoregolazione del corpo, pelle disidratata e senza sudorazione, battito accelerato, eritemi, ustioni, mal di testa, vertigini, svenimenti.

1.2.2.2. Crampi

I crampi si verificano soprattutto negli arti inferiori, ovvero le gambe, e piedi sia in persone giovani che anziane. Nelle prime sono dovuti ad una scarsa reintegrazione di liquidi dopo un'intensa attività fisica che prevede molta sudorazione, nei secondi, invece, poiché le persone anziane tendono ad assumere pochi liquidi in generale. I crampi sono causati da una perdita di sodio dovuta all'eccessiva sudorazione e ad una conseguente modificazione dell'equilibrio idrico-salino, oppure sono la conseguenza di malattie venose preesistenti negli arti inferiori.



1.2.2.3. Edema

L'edema è un accumulo di liquidi negli spazi interstiziali dell'organismo. Può essere circoscritto ad una zona particolare, come ad esempio in una gamba, oppure può essere diffuso in tutto l'organismo. L'accumulo dei liquidi è causato da una ritenzione come conseguenza di una vasodilatazione periferica prolungata. Nel caso l'edema sia relativo agli arti inferiori, una soluzione possibile è quella di mantenere le gambe in posizione sollevata ed eseguire dei movimenti circolari per implementare il reflusso venoso, oppure effettuare delle docce fredde alle gambe dall'alto verso il basso e dall'interno verso l'esterno, sino alla coscia.

1.2.2.4. Congestione

La congestione è causata dall'assunzione veloce di bevande e liquidi ghiacciati in un organismo surriscaldato, durante i pasti o durante la digestione. Questo gesto può provocare all'interno del corpo un eccessivo afflusso di sangue all'addome, rallentando o bloccando i processi digestivi. I primi sintomi sono rappresentati da sudorazione e dolore toracico.

1.2.2.5. Disidratazione

La disidratazione consiste in una perdita di acqua dall'organismo maggiore di quella introdotta, così il sistema inizia a lavorare male. Spesso la disidratazione avviene negli anziani, che bevono pochi liquidi in mancanza dello stimolo della sete, ma attraverso la sudorazione ne perdono molti, più di quelli introdotti, soprattutto quando le condizioni ambientali come alte temperature richiedono quantità di acqua maggiori per un buon funzionamento della termoregolazione e della sudorazione. In altri casi la condizione di disidratazione si attua negli individui che assumono farmaci in grado di favorire l'eliminazione di liquidi, come ad esempio diuretici e lassativi. I principali sintomi che si presentano sono sete, debolezza, vertigini, palpitazioni, ansia, pelle e mucose asciutte, crampi muscolari, abbassamento della pressione arteriosa.

1.2.2.6. Effetti sulla pressione arteriosa

In estate e in presenza di alte temperature la pressione arteriosa può manifestare cali, soprattutto nel passaggio repentino dalla posizione sdraiata a quella eretta, causando



giramenti di testa o svenimenti. Ciò si verifica soprattutto negli individui ipertesi e i cardiopatici, in particolare anziani. In questi casi è bene: evitare il brusco passaggio dalla posizione orizzontale a quella verticale, non alzarsi bruscamente dal letto, nelle ore notturne e di prima mattina, ma soffermarsi in posizioni intermedie prima di alzarsi completamente in piedi.

1.2.2.7. Stress da calore

Lo stress da calore può manifestarsi durante un'intensa attività fisica in un ambiente eccessivamente caldo, specie per soggetti non acclimatati, con una ridotta efficienza cardiaca e quindi un insufficiente compenso in occasione di una diffusa vasodilatazione periferica, a causa di un diminuito volume sanguigno per disidratazione. Questa patologia è provocata, perciò, da un collasso dei vari periferici con un insufficiente apporto di sangue al cervello. I principali sintomi sono una forte sudorazione, un senso di leggero disorientamento, malessere generale, debolezza, nausea, vomito, cefalea, tachicardia e ipotensione, oliguria, confusione e irritabilità. Se non viene diagnosticato in tempo, può progredire fino al colpo di calore.

1.2.2.8. Colpo di calore

Il colpo di calore è una conseguenza della disidratazione e dello stress da calore in condizioni di temperature elevate, associate ad un tasso di umidità molto alto e alla mancanza di ventilazione. Può avvenire in ambienti chiusi e caldi, all'aria aperta direttamente sotto il sole, o anche dove non batte direttamente il sole. Questa patologia si manifesta nell'essere umano quando la fisiologica capacità di termoregolazione viene alterata e a seconda della gravità presenta diversi sintomi. Il primo è caratterizzato da un malessere generale, a cui seguono cefalea, nausea, vomito e sensazione di vertigine, fino ad arrivare a stati di ansia e infine confusionali. La persona colpita può svenire e perdere coscienza, con un veloce aumento della temperatura corporea: dai 10 ai 15 minuti può arrivare fino a 40-41°C. I sintomi più gravi seguono questo rialzo della temperatura con un possibile mal funzionamento degli organi interni che può portare addirittura alla morte.



1.2.2.9. Aggravamento di malattie preesistenti

Il caldo estremo e le ondate di calore possono portare ad un aggravamento delle malattie preesistenti. Si tratta di sintomi minori, che non richiedono particolare attenzione clinica, ad esempio una riduzione delle capacità fisiche, soprattutto nelle persone anziane. Ma si può trattare anche di una sintomatologia più grave, che può richiedere visite dal proprio medico, fino ad arrivare situazioni che necessitano di ricoveri ospedalieri o ricorsi al Pronto Soccorso.

Le ondate di calore hanno, infatti, un effetto immediato, soprattutto all'inizio della stagione estiva, quando ancora la popolazione non si è abituata al caldo, sia attraverso meccanismi di difesa fisiologici, che ambientali, in casa o sul posto di lavoro. Inoltre le ondate più pericolose sono quelle più prolungate e intense. In generale tra il rapido innalzamento delle temperature e il conseguente aumento dei decessi, vi è una latenza da 1 a 3 giorni. Ciò è ben documentato e spesso si è riscontrato che le persone con patologie croniche presentano un maggior pericolo di mortalità. In particolare alcuni studi hanno evidenziato che specifiche patologie sono più a rischio, quali malattie cardio-vascolari e cerebrovascolari, malattie polmonari croniche, disturbi psichici, malattie del sistema centrale nervoso, malattie del fegato e dei reni e malattie metaboliche quali il diabete, soprattutto per le persone anziane. Altre patologie gravi e croniche possono aumentare il rischio e sono quelle che comportano una compromissione del meccanismo della termoregolazione come la sclerodermia che blocca la sudorazione a causa di un assottigliamento dell'epidermide e la fibrosi cistica, in cui l'eccessiva sudorazione può causare disidratazione e insufficienza, circolatoria. In generale ovviamente le condizioni che costringono a stare a letto e riducono la capacità delle persone di prendersi cura di sé e di reagire aumentano il rischio di esposizione al caldo.



1.2.3. LA POPOLAZIONE PIÙ A RISCHIO

Il caldo estremo rappresenta un rischio più elevato soprattutto per le condizioni patologiche causate da una limitata capacità di termoregolazione o ridotta capacità di reagire e proteggersi dal caldo. Questo meccanismo è presente soprattutto in alcune fasce di popolazione. Tra le categorie più in pericolo vi sono: le persone anziane, i neonati e i bambini, le donne in gravidanza, le persone con malattie croniche come malattie cardiovascolari, diabete, insufficienza renale...etc, le persone con disturbi psichici, le persone con ridotta mobilità e/o non autosufficienti, le persone che assumono farmaci regolarmente, le persone che fanno uso di alcol e droghe, le persone, anche giovani, che fanno esercizio fisico o svolgono un lavoro intenso all'aria aperta e le persone con condizioni socio-economiche disagiate. Quest'ultima argomentazione riporta l'attenzione sulle situazioni abitative che prevedono scarsa ventilazione o assenza di aria condizionata. Ciò è particolarmente rilevante nelle vaste aree urbane, nelle quali a causa di grandi superfici asfaltate, di ampie pareti cementificate negli edifici, di scarsa copertura vegetale e della presenza di elevata concentrazione di inquinanti atmosferici, la temperatura è più alta rispetto alle zone rurali circostanti.

1.2.3.1. Persone anziane

La categoria degli anziani comprende persone di età superiore ai 65 anni ed è quella maggiormente esposta alle conseguenze negative dovute al caldo estremo. Questo è dovuto alla maggiore sensibilità al caldo, alla riduzione dello stimolo della sete e di una minore efficienza dei meccanismi di difesa del corpo, come la termoregolazione, spesso a causa di malattie croniche preesistenti. La minore capacità di reagire è conseguente anche ad una ridotta mobilità e alla solitudine. La stessa Regione Piemonte nel rapporto riguardante le "Misure Preventive in caso di Temperature Elevate" favorisce l'identificazione di alcuni soggetti fragili e tra di essi sottolinea le persone sole. Gli individui vedovi e senza compagnia sono, infatti, quelli che rischiano di più, e in questo caso gli studi dell'Arpa (Agenzia regionale della protezione ambientale) nel rapporto "Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore per i capoluoghi di Provincia della Regione Piemonte" riportano come le donne over 65 siano quelle che ne risentono maggiormente. Logicamente, infatti, le donne



vivono di più rispetto agli uomini e in questo modo sono molte di più le persone vedove di sesso femminile e perciò sole e a rischio.

1.2.3.2. Neonati e bambini

I neonati e bambini piccoli possiedono una minore capacità di termoregolare il proprio organismo e inoltre in molti casi non sono in grado di esprimere il disagio legato alle condizioni meteorologiche e ambientali. Sono, perciò, maggiormente esposti al rischio dovuto alle temperature elevate e soprattutto ad una crescita repentina delle temperature corporee, alla disidratazione, con conseguenze negative sul sistema cardiocircolatorio, respiratorio e neurologico.

1.2.3.3. Donne in gravidanza

L'organismo delle donne in stato interessante presenta dei conseguenti cambiamenti fisiologici, come l'aumento del volume del sangue materno per fornire sangue alla placenta e il maggior bisogno di idratazione. Il caldo estremo può causare, quindi, una condizione di disidratazione che potrebbe alterare l'equilibrio tra la madre e il feto, a causa della perdita di liquidi che contengono sali minerali, attraverso l'aumento della sudorazione. Alcune particolari condizioni, inoltre, possono aumentare il rischio di complicanze durante il parto, oppure di parto prematuro. Ciò è legato alla presenza di malattie croniche o a patologie della gravidanza come la pressione alta o il diabete.

1.2.3.4. Individui con malattie croniche

Si ha a che fare con tre sottogruppi specifici di individui con malattie croniche che comprendono gli individui ipertesi e cardiopatici, quelli con diabete e infine le persone con insufficienza renale e/o dializzate.

- Le persone ipertese e cardiopatiche, soprattutto se over 65, sono molto sensibili alle conseguenze del caldo estremo e mostrano sintomi caratteristici, come l'abbassamento repentino della pressione arteriosa e svenimenti, in particolare quando si cambia posizione velocemente, da sdraiati ad eretti. Il caldo, inoltre, può implementare l'effetto di alcuni farmaci che tengono sotto controllo la pressione e le malattie cardiovascolari. Nella stagione estiva sarebbe, quindi,



opportuno effettuare controlli medici frequenti per adattare la terapia e la dose dei farmaci alle condizioni metereologiche.

- I pazienti che presentano diabete presentano un alto rischio di disidratazione di fronte a temperature molto elevate, anche se controllano la malattia attraverso terapie e farmaci specifici. In particolare le persone diabetiche aventi neuropatia periferica devono prestare molta attenzione agli effetti del caldo torrido poiché la patologia diminuisce la sudorazione periferica a causa del blocco del segnale diretto alle ghiandole sudoripare e quindi non sudando a sufficienza e di conseguenza non termoregolandosi adeguatamente rischiano di sviluppare sintomi dello stress da calore o del colpo di calore.
- I soggetti colpiti da insufficienza renale e/o dializzate manifestano problemi legati allo sbalzo della pressione arteriosa e quindi sono maggiormente a rischio. Devono quindi tenere sotto controllo il proprio peso e la pressione.

1.2.3.5. Persone affette da disturbi psichici

L'uso giornaliero di farmaci e la loro inferiore capacità di prendere consapevolezza delle situazioni con comportamenti inadeguati, li espongono ad un maggiore rischio nei confronti delle ondate di calore.

1.2.3.6. Soggetti con ridotta mobilità e/o non autosufficienti

I pazienti che non possiedono la capacità di spostarsi o di svolgere le funzioni quotidiane sono più a rischio perché non sono in grado di controllare l'ambiente che li circonda adeguatamente alla loro necessità. Inoltre dipendono dagli altri per effettuare una corretta assunzione di cibo e liquidi. È necessario, perciò, che le persone accanto se ne prendano cura per non esporli ad un rischio più elevato di quanto non sia già.

1.2.3.7. Persone che assumono farmaci regolarmente

Alcune categorie di farmaci possono aumentare il rischio di effetti negativi dovuti al caldo. Questo succede ad esempio con i farmaci che curano ipertensione e malattie cardiovascolari, disturbi della coagulazione, malattie neurologiche, malattie psichiatriche, disturbi della tiroide e malattie respiratorie croniche. Molti di essi hanno



azione anche sul sistema di termoregolazione e sull'idratazione del paziente, interferendo con le fisiologiche funzionalità. In generale è consigliabile all'inizio della stagione estiva contattare il medico curante per un adeguamento della terapia, in modo che essa non peggiori le condizioni di salute durante il caldo.

1.2.3.8. Persone che fanno uso di alcol e/o droghe

L'uso di alcol e oppiacei incide sulla vasodilatazione cutanea aumentandola e di conseguenza, con il caldo, favorisce una maggiore sudorazione. L'eccessiva sudorazione da una parte riduce la temperatura corporea, ma dall'altro canto aumenta il rischio di disidratazione. Questo pericolo è ancora più grande se si considera che l'alcol è un efficace diuretico e che può portare a perdere molti liquidi e quindi ad un'ulteriore disidratazione.

1.2.3.9. Soggetti che praticano lavori intensi e/o sport e/o vivono all'aria aperta

Lavorare e praticare sport all'aria aperta durante il periodo delle ondate di calore, aumenta il rischio di accusare sintomi associati al caldo estremo. Le cause sono da ricercare anche nella più diretta esposizione agli effetti di alte concentrazioni di ozono nell'ambiente urbano. Oltre a ciò è ovvio che chi pratica lavori e sport all'aria aperta, magari direttamente sotto il sole, perde molti liquidi attraverso la sudorazione, quindi è necessario che effettui la reidratazione necessaria al caso, per non incorrere in problemi di disidratazione e di conseguenza disturbi peggiori. Molta attenzione si deve prestare anche alla pressione, che diminuendo potrebbe causare svenimenti pericolosi, soprattutto in certi ambiti lavorativi come ad esempio l'edilizia. È necessario perciò che il lavoro venga alternato con pause in luoghi freschi per il reintegro dei liquidi e dei sali persi.

1.2.3.10. Individui in condizioni socio-economiche disagiate

Situazioni di povertà e di solitudine aumentano il rischio di incorrere in effetti negativi su questa fascia di popolazione. La minore informazione sui pericoli delle ondate di calore, l'inferiore possibilità di accedere alle strutture ospedaliere e la solitudine influenzano i comportamenti del soggetto, aumentando il rischio sulla salute. La povertà e la solitudine incidono anche sulla possibilità di spostarsi in zone più fresche



oppure di condizionare l'ambiente domestico e lavorativo, favorendo l'insorgere di disturbi da caldo estremo.



1.3. UN FENOMENO SEMPRE PIU' FREQUENTE



Figura 1-3: Linea indicante l'impatto dei vari fenomeni estremi, che nel tempo assumono sempre più evidenza per la vasta area che vanno a ricoprire [Michelozzi P. (2017), "Eventi estremi e salute: l'impatto nelle città italiane e misure di adattamento", Workshop Piano Nazionale Caldo Estate 2017. Cambiamenti climatici, eventi estremi e misure di adattamento e mitigazione, Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, Consiglio Nazionale Ricerche, Regione Siciliana Assessorato alla Salute Dipartimento per le Attività Sanitarie ed Osservatorio Epidemiologico, Palermo da dati IPCC].

La variabilità climatica è una caratteristica del clima e le ondate di calore rappresentano un aspetto di questa variabilità. Il cambiamento climatico, infatti, ha portato ad un aumento degli episodi delle ondate di calore e ciò emerge chiaro anche dalle analisi del clima a lungo termine che hanno registrato la crescita della frequenza e della durata degli eventi di temperatura estrema. Come si può vedere dall'immagine sopra riportata emerge, infatti, chiaro l'impatto che le ondate di calore stanno assumendo sempre più. Le aree colpite sono direttamente proporzionali alla forza delle evidenze e quindi le ondate di calore risultano essere i fenomeni che colpiscono le aree maggiori (Michelozzi P., 2017 da dati IPCC). Gli studi di modellizzazione dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e del CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) indicano, inoltre, che l'estate e l'esperienza in Europa del 2003 potrebbero ripresentarsi e rappresentare così il futuro per la società europea. Ciò può essere in gran parte attribuito alle influenze e agli interventi umani sul clima, come cementificazione ed inquinamento. La società sta, quindi, cercando di affrontare la variabilità del clima tentando di trovare delle efficaci strategie di



adattamento alle ondate di calore, per evitare conseguenze sempre più negative sull'ambiente e sulla popolazione. Come visto in precedenza, infatti, le temperature estreme inducono all'aumento dei decessi nel periodo estivo, causando anche gravi danni agli ecosistemi in cui si vive. Le ondate di calore aumentano, infatti, il fabbisogno di elettricità e acqua. Per proteggersi dal caldo la popolazione incrementa le emissioni dannose da parte di condizionatori e utilizza quantità maggiori di acqua, che purtroppo in molte zone scarseggia durante il periodo estivo.

1.3.1. VARIABILITÀ CLIMATICA

Gli studi hanno analizzato le serie di dati registrati negli ultimi decenni per decifrare il comportamento climatico e comprendere quanto ad oggi gli eventi estremi siano aumentati. Queste analisi non sono servite solo per capire il presente ma anche per poter rappresentare scenari futuri, in grado di allertare i tecnici nel cercare soluzioni preventive.

1.3.1.1. Variabilità climatica presente

L'European Environment Agency (EEA) ha pubblicato, nel 2017, una mappa che rappresenta i giorni caldi tra il 1960 e il 2016, definiti come il 90° percentile della temperatura massima giornaliera. I rettangoli neri contengono almeno tre stazioni e quindi sono più rappresentativi della griglia. Inoltre un significativo trend a lungo termine è mostrato dai punti neri. Si nota come la figura 1-4 mostra in generale un trend diffuso, ovvero quello compreso tra 7-8 giorni caldi. In particolare, invece, l'Italia fa osservare tre andamenti suddivisi per aree. La zona più settentrionale si orienta verso i 7-8 giorni caldi, seguendo l'orientamento comune europeo. La zona centro-meridionale si colloca sui 8-9 giorni caldi, mentre l'area più meridionale e la Sardegna si posizionano sui 9-10 giorni caldi.

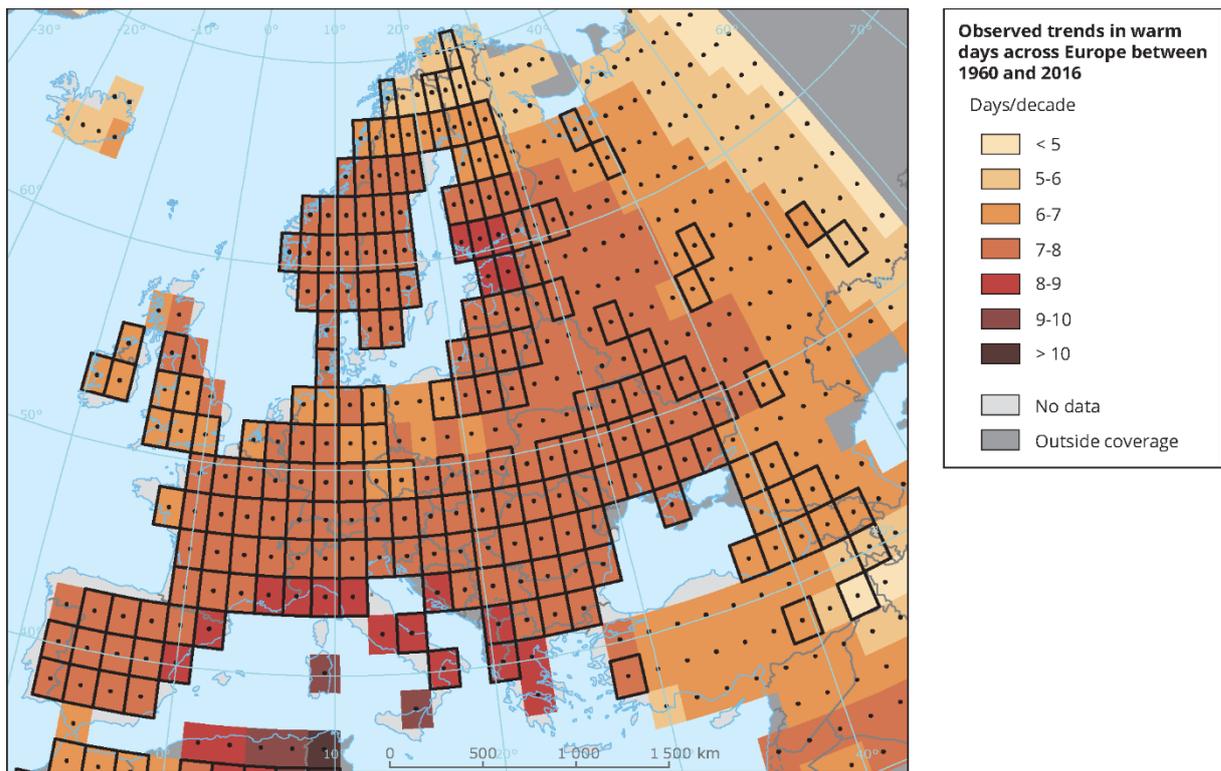


Figura 1-4: Mappa rappresentante i giorni caldi distribuiti per aree geografiche [<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/changes-in-duration-of-warm-spells-in-summer-across-europe-in-the-period-1976-2006-in-days-per-decade-9> e EEA (2012), *Climate Change and Vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*, EEA, Copenhagen].

Se l'EEA ha lavorato sull'Europa, l'Ispra (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) si è concentrata sul territorio italiano, pubblicando nel luglio del 2016 il "Rapporto sugli Indicatori del clima in Italia nel 2015", nel quale descrive in modo dettagliato i trend climatici degli ultimi decenni paragonandoli al 2015.



Dal documento è chiaro come in generale le temperature siano in aumento. Nel 2015 si ha, infatti, un + 1.23 °C a livello globale, mentre in Italia è stato registrato un + 1.58°C, entrambi rispetto al periodo compreso tra il 1961 e il 1990 e un +0.90 °C rispetto all'anno precedente ovvero il 2014 (fig. 1-5).

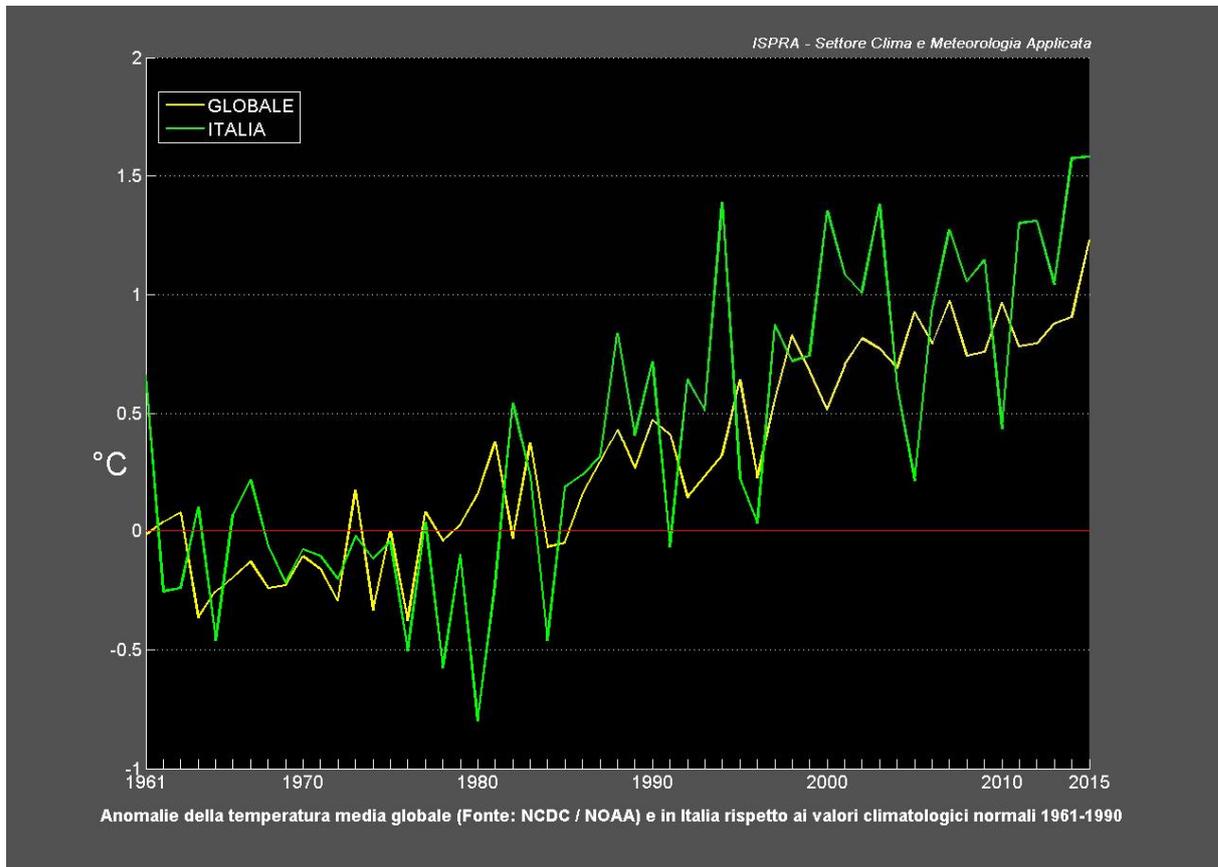


Figura 1-5: Rappresentazione del generale aumento delle temperature a livello globale e italiano dal 1961 fino al 2015 [<http://variazionietendenze.blogspot.it/p/gli-indicatori-2011-della-temperatura.html>].



Il rapporto mette in luce anche come il 2015 sia stato l'anno più caldo dal 1961 in Italia, con un + 2.53 °C per la stagione estiva. In particolare è evidenziato come il mese di luglio sia stato il più caldo, con un'anomalia di + 4.31 °C al Nord, dato superiore sia al Centro che al Sud e Isole. Questo rispecchia l'andamento della crescita che si presenta maggiore al Nord (fig. 1-6).

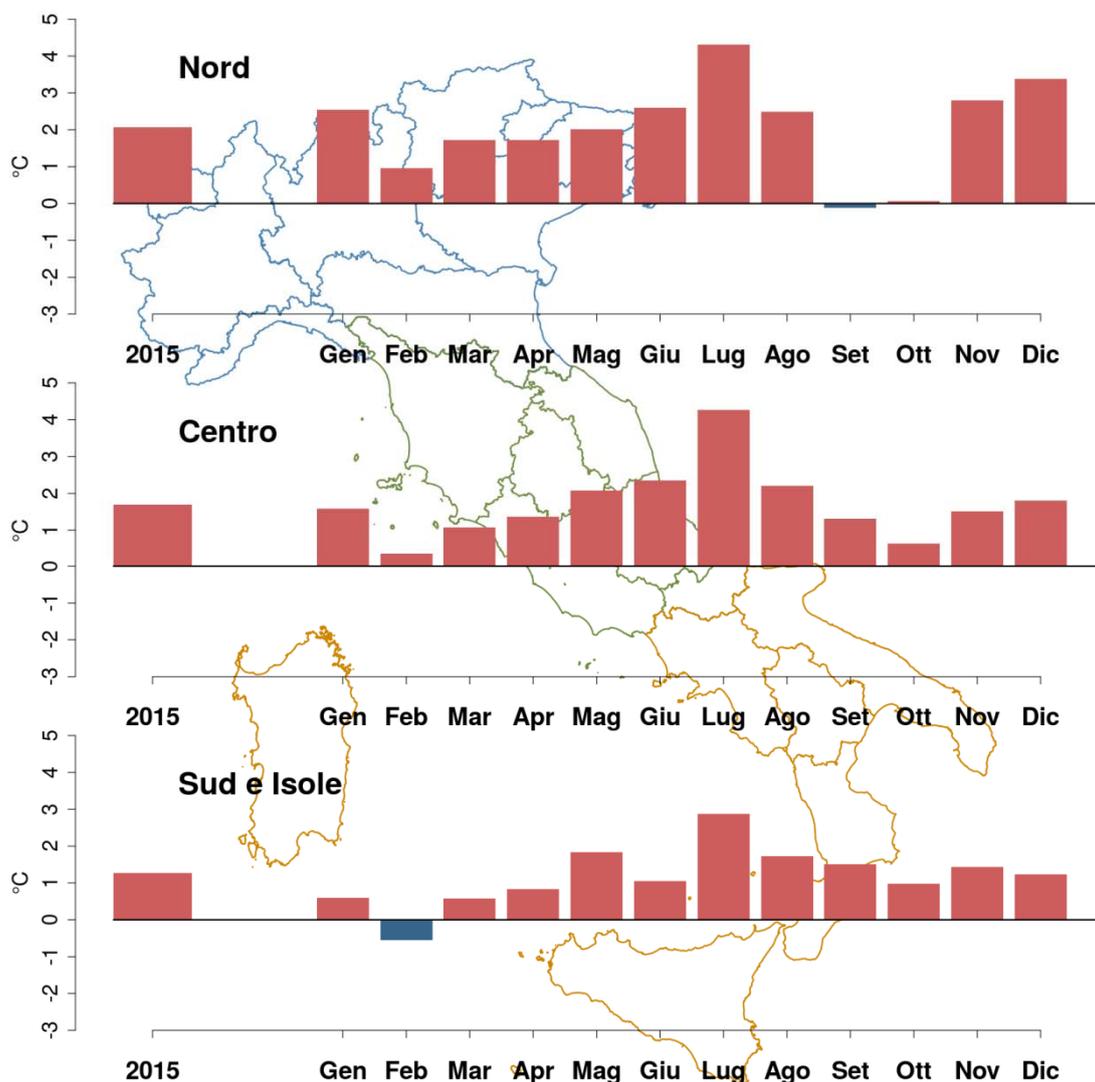


Figura 1-6: Rappresentazione del trend climatico del 2015 in Italia, suddiviso per i mesi dell'anno [Ispra (2016), Gli indicatori del clima in Italia nel 2015, Settore editoria Ispra, Roma].



Per quanto riguarda altri indici statistici del 2015, l'Ispra ha registrato per le notti calde, ovvero la percentuale di giorni con temperatura minima superiore al 90° percentile della serie, il secondo valore più alto dell'ultimo trentennio. I giorni caldi, ovvero la percentuale di giorni con temperatura massima superiore al 90° percentile, sono stati invece più numerosi rispetto alla media climatologica. Per quanto riguarda le notti tropicali, cioè le notti in cui la temperatura è maggiore di 20°C, è stato quantificato un valore tra i più alti, secondo solo al 2003.

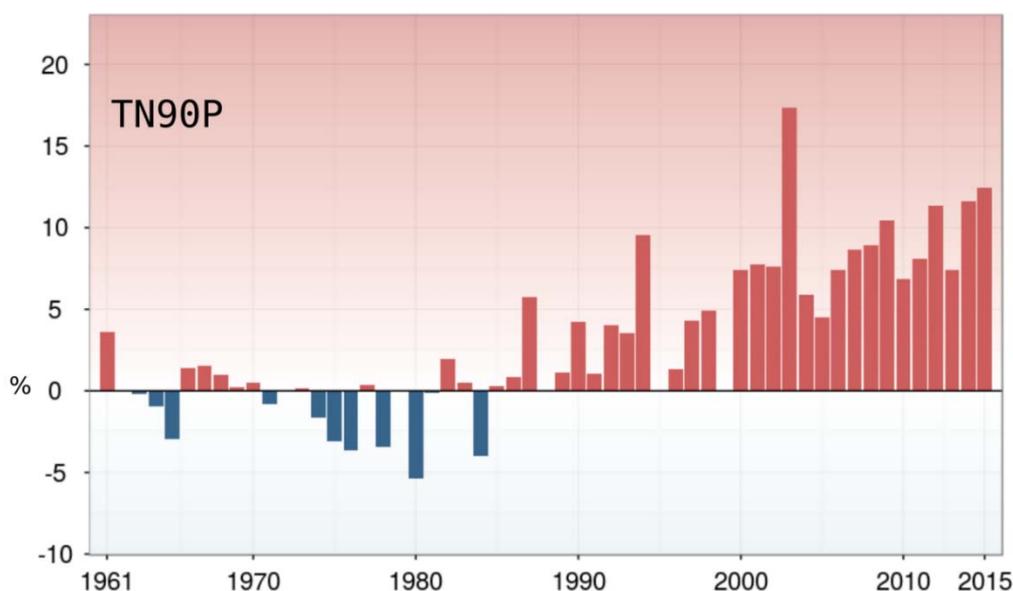


Figura 1-7: Grafico rappresentante le notti calde dal 1961 al 2015. Il 2015 è il secondo valore più alto dopo il 2003 [Ispra (2016), Gli indicatori del clima in Italia nel 2015, Settore editoria Ispra, Roma].

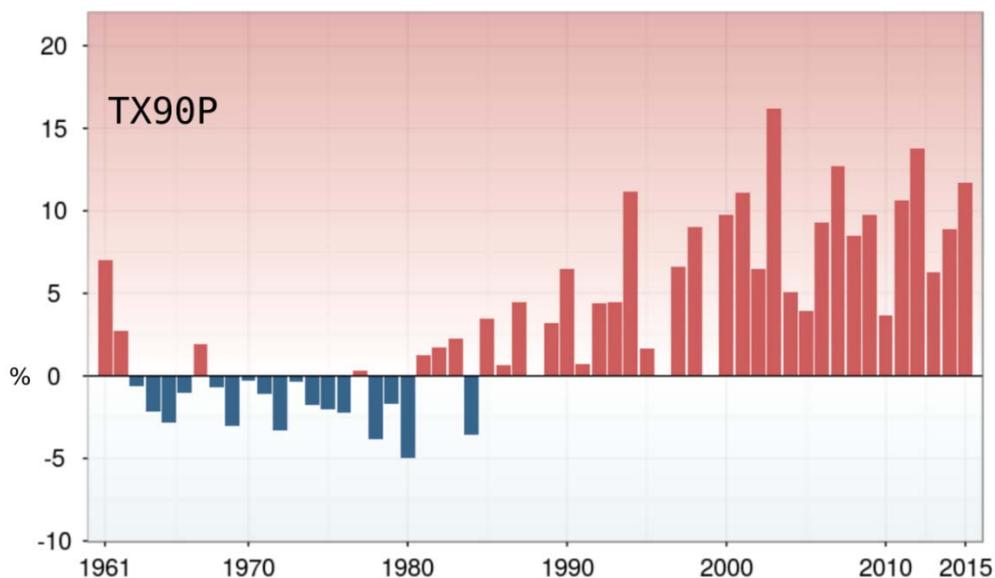


Figura 1-8: Grafico indicante i giorni caldi dal 1961 al 2015. Il 2015 si presenta con valori superiori alla media [Ispra (2016), Gli indicatori del clima in Italia nel 2015, Settore editoria Ispra, Roma].

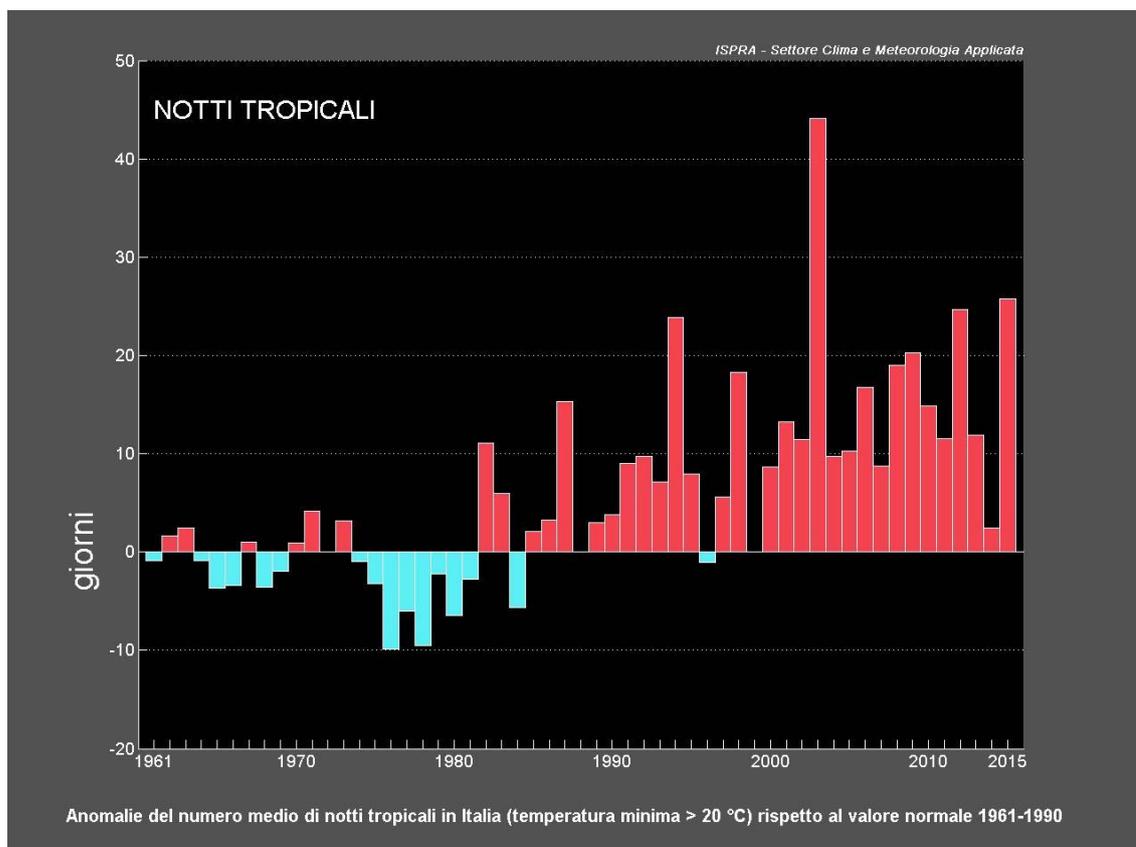


Figura 1-9: Rappresentazione grafica delle notti tropicali dal 1961 al 2015, che si rivela il secondo anno con i valori più alti dopo il 2003 [http://variazionietendenze.blogspot.it/p/gli-indicatori-2011-della-temperatura_18.html].



Nello specifico per quanto riguarda le ondate di calore, il rapporto Ispra le analizza attraverso il Warm Spell Duration Index (WSDI), indice che misura il numero dei giorni caratterizzati da ondate di calore in un anno. Come già vista in precedenza per le temperature anche le ondate di calore nel 2015 sono accresciute e risultano superiori al periodo 1961-1990 con un'anomalia di circa + 28 giorni nell'anno (fig. 1-10).

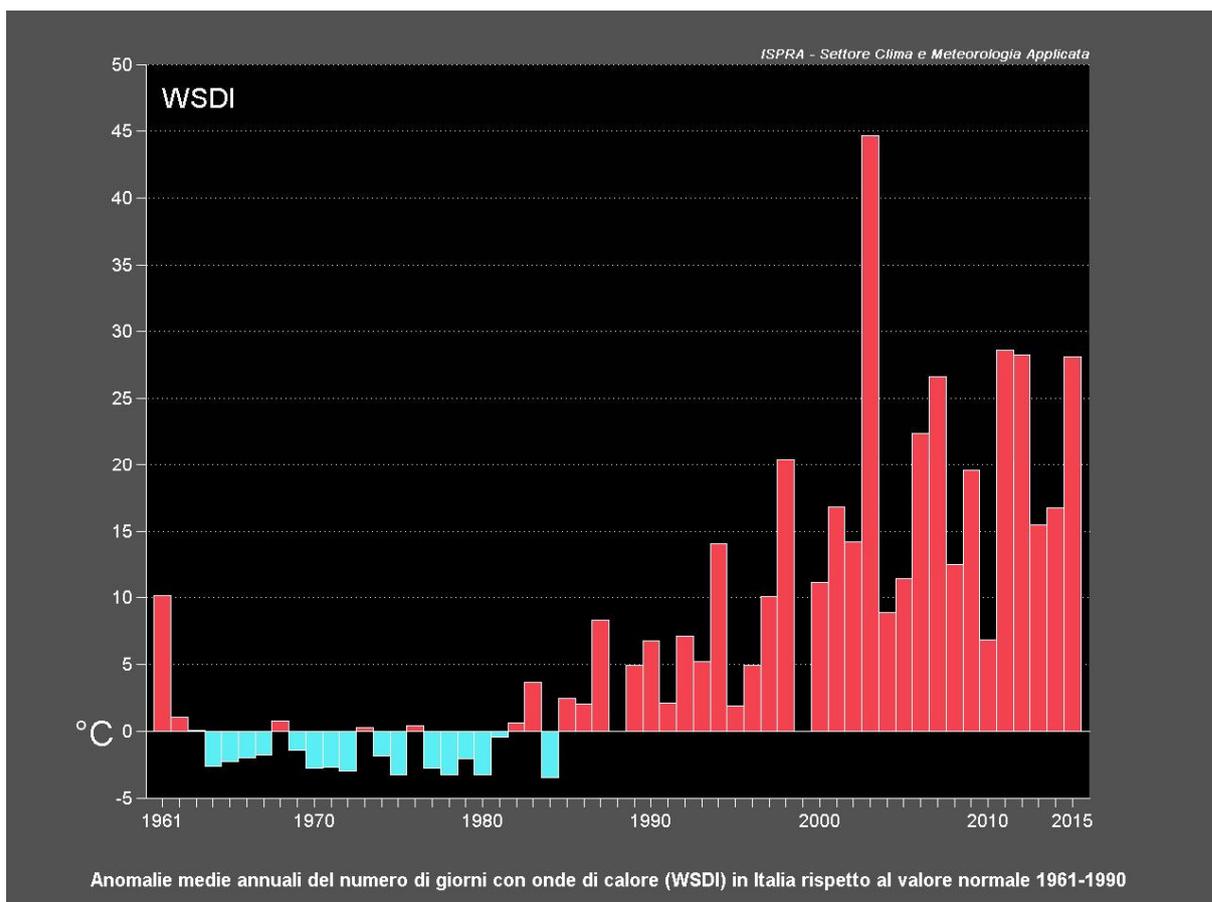


Figura 1-10: Rappresentazione dei giorni durante i differenti anni con ondate di calore in Italia, dal 1961 al 2015
[http://variazionietendenze.blogspot.it/p/gli-indicatori-2011-della-temperatura_18.html].

La variabilità climatica presente è stata oggetto anche del *Workshop* denominato *Piano Nazionale Caldo Estate 2017. Cambiamenti climatici, eventi estremi e misure di adattamento e mitigazione*, tenutosi il 23 giugno del 2017 a Palermo. L'evento promosso dal Ministero della Salute, dal Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, dal Dipartimento di Epidemiologia Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, dal Consiglio Nazionale Ricerche e dalla Regione Siciliana Assessorato alla



Salute Dipartimento per le Attività Sanitarie ed Osservatorio Epidemiologico, ha interessato l'intervento di alcuni esperti del settore, i quali hanno partecipato con i loro studi. In particolare nel documento intitolato "Ondate di calore e monitoraggio delle variazioni temporali degli effetti sulla salute dal 2003-2016", de'Donato ha posto l'attenzione sulle anomalie delle temperature, introducendo un grafico molto significativo del fenomeno in atto. Esso relaziona il numero di giorni, nel periodo dal 15 maggio al 15 settembre, in cui sono stati registrati degli allarmi di temperature estreme di livello 2 e 3, ovvero i più alti (Ministero della salute, <http://www.salute.gov.it/portale/caldo/homeCaldo.jsp> bollettino delle ondate di calore: Livello 2 - Temperature elevate e condizioni meteorologiche che possono avere effetti negativi sulla salute della popolazione, in particolare nei sottogruppi di popolazione suscettibili e Livello 3 - Ondata di calore. Condizioni ad elevato rischio che persistono per 3 o più giorni consecutivi). Vengono messi a confronto il nord, il centro e il sud Italia dal 2008 al 2016. Spicca subito agli occhi come il periodo estivo del 2015 abbia censito un numero più elevato di allarmi in confronto agli anni considerati.

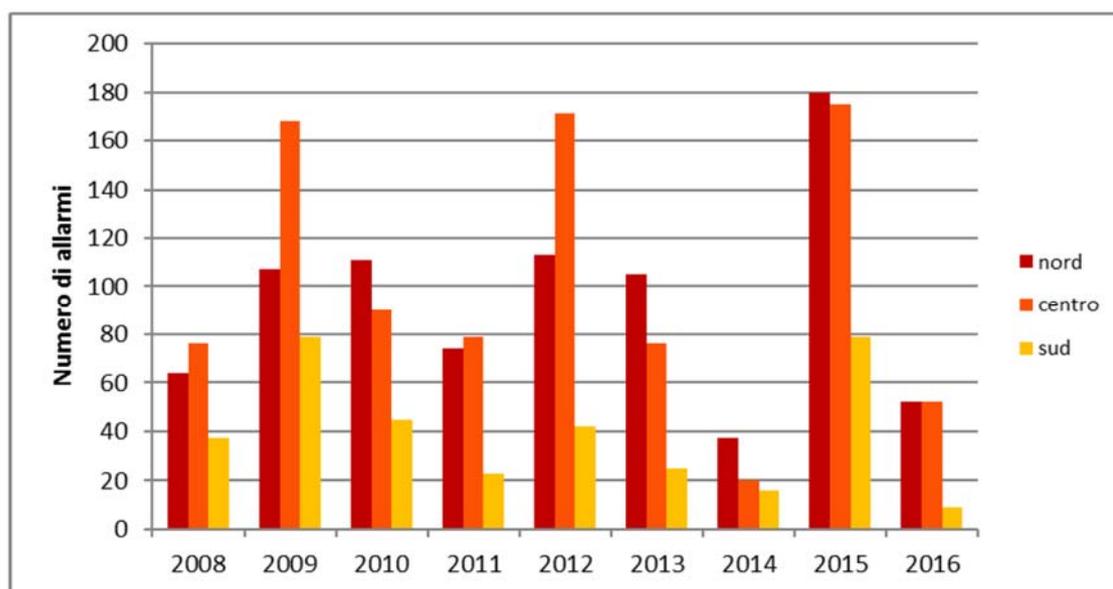


Figura 1-11: Grafico rappresentante il numero di giorni nei quali sono stati registrati degli allarmi di ondate di calore di livello 2 e 3, al nord, al centro e al sud d'Italia, dal 2008 al 2015 [De'Donato F. (2017), "Ondate di calore e monitoraggio delle variazioni temporali degli effetti sulla salute dal 2003-2016", Workshop Piano Nazionale Caldo Estate 2017. Cambiamenti climatici, eventi estremi e misure di adattamento e mitigazione, Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, Consiglio Nazionale Ricerche, Regione Siciliana Assessorato alla Salute Dipartimento per le Attività Sanitarie ed Osservatorio Epidemiologico, Palermo].



1.3.1.2. Variabilità climatica futura

Fondamentale è la previsione futura per adottare strategie di adattamento e di prevenzione nel presente. Solo nel 2015 si è svolta la ventunesima Conferenza delle parti della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, conclusasi con l'approvazione del *Paris Agreement*, un accordo universale che richiede a tutti gli Stati membri di agire, di dichiarare i propri obiettivi per contenere il cambiamento climatico e di pianificare e/o implementare strumenti di mitigazione a livello nazionale.

Nel 2016 è stato pubblicato, inoltre, il dossier sui cambiamenti climatici da parte del WWF, in occasione della Giornata della Terra, intitolato "Scenari per l'Italia, il paradosso climatico degli estremi opposti nel futuro dell'Italia". Questo documento, seppur breve, è molto significativo, data la ricchezza di dati che dimostrano il futuro climatico dell'Italia. Il dossier mostra i nuovi scenari del clima in Italia su cui lavora il modello climatico regionale definito COSMO-CLM, realizzato dal CMCC (Centro Euro Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici). Questo modello valuta con buona affidabilità le variazioni di valori medi ed estremi di temperatura e di precipitazioni per il secolo in corso e i relativi impatti. L'elaborazione avviene attraverso dei programmi che calcolano la situazione dell'atmosfera e le sue risposte rispetto ad alcune grandezze che variano nel tempo, come il riscaldamento della superficie terrestre, la temperatura, la pressione e la concentrazione del vapore acqueo.

In particolare i nuovi scenari del clima in Italia, riportati come detto precedentemente dal WWF, sono stati redatti e pubblicati nell'ultimo rapporto IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) del 2014, intitolato "Fifth Assessment Report". La previsione espone i cambiamenti climatici fino al 2100 (fig. 1-12) suddividendoli in 4 tipologie denominate RCP (Representative Concentration Pathways), poiché identificate dal forzante radiativo misurato in Wm^2 . Quest'ultimo quantifica l'immissione nell'ambiente di gas provocata dall'intervento umano, che modifica la composizione chimica dell'atmosfera e incrementa l'effetto serra, costituendo quello che gli scienziati definiscono un forzante radiativo aggiunto rispetto a quello naturale. Ad ogni paese, quindi, sono affidati uno o più scenari RCP corrispondenti, che nel complesso sono:

- RCP 2.6 Wm^2 , è troppo ottimistico e inverosimile



- RCP 4.5 Wm², rappresenta una stabilizzazione
- RCP 6.0 Wm², come quello precedente è all'incirca stabile
- RCP 8.5 Wm², è molto negativo

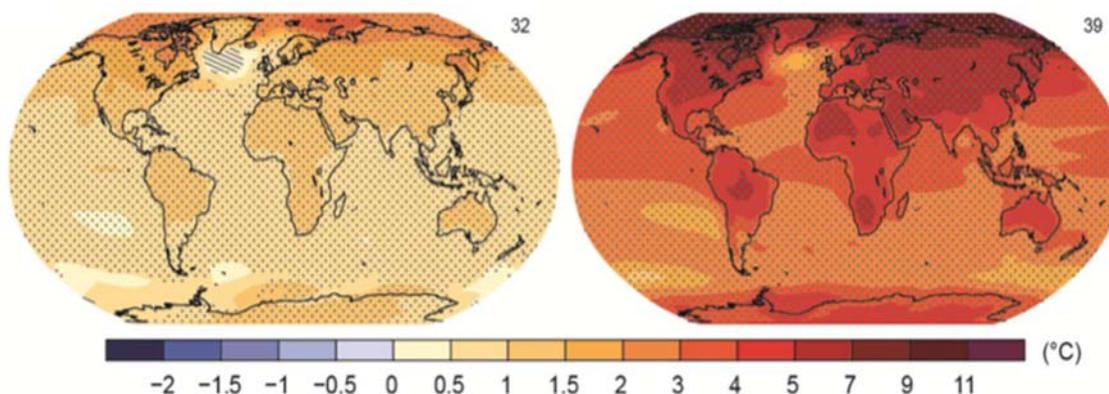


Figura 1-12: Rappresentazione della temperatura superficiale media annua rispettivamente per lo scenario RCP 2.6 e 8.5, dal 1986-2005 al 2081-2100 [IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York].

L'Italia appartiene al secondo e al terzo scenario. I risultati degli studi hanno mostrato per il futuro una temperatura media di + 3°C per fine secolo nell'intero territorio, fino a raggiungere i più 4°C al Nord-Ovest. Si prevedono, inoltre, meno precipitazioni che si ridurranno addirittura del 20% nei mesi estivi. Vi sarà, anche, un aumento degli eventi estremi come: periodi aridi; notti tropicali che corrispondono ai giorni in cui la temperatura minima è superiore ai 20° C; giorni estivi rappresentati dalle giornate in cui la temperatura massima è superiore ai 25° C; la frequenza ed entità degli eventi quali frane, alluvioni, magre ed infine non meno importanti le ondate di calore.



L'IPCC nel Fifth Assessment Report dimostra anche come gli eventi di temperatura estrema colpiranno maggiormente il sud dell'Europa, che risulta esposto ad un rischio superiore. Nella figura 1-13 si può vedere, infatti, che il numero medio delle ondate di calore rimane stabile nello scenario RCP 4.5, mentre per lo scenario RCP 8.5 si modifica con un evidente incremento fino a otto, nove casi.

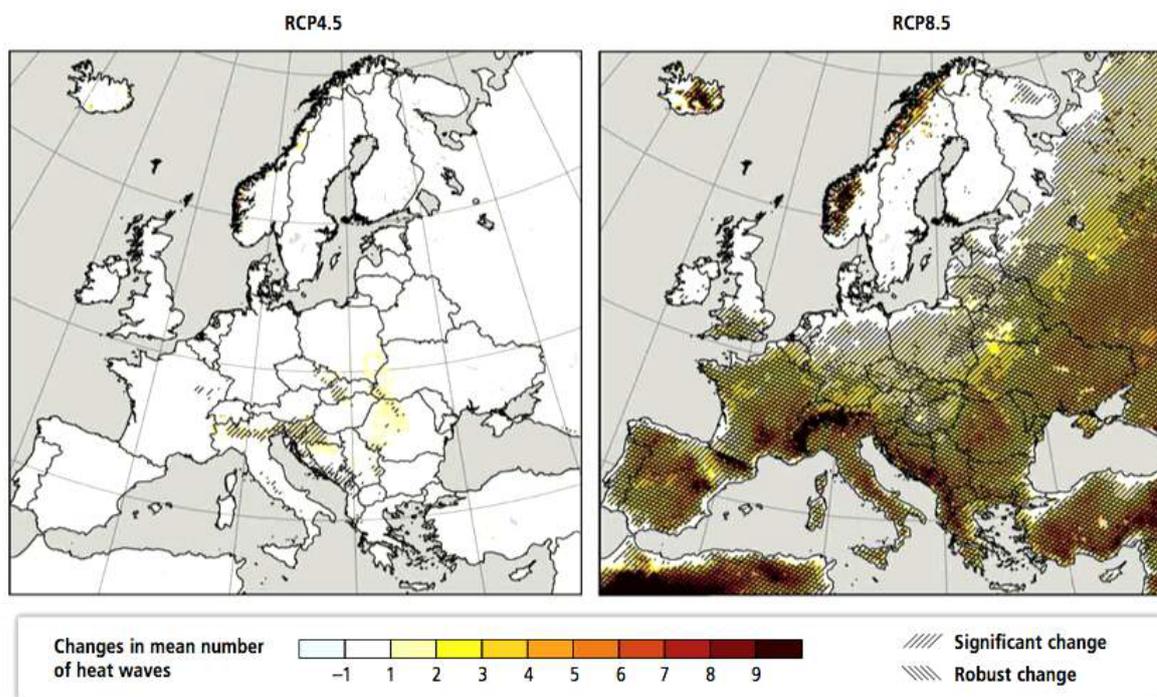


Figura 1-13: Mappa indicante il cambiamento nel numero medio delle ondate di calore nello scenario RCP 4.5 a sinistra e RCP 8.5 a destra [IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York].

In particolare l'European Environment Agency (EEA) ha analizzato la frequenza e l'intensità delle ondate di calore nel futuro europeo, supponendo l'intervento di due scenari: uno intermedio, RCP 4.5 ed uno molto pessimistico, RCP 8.5. La figura 1-14 mostra il numero medio di ondate di calore in due periodi compresi tra il 2020 e il 2052 e il 2068 e il 2100. Si nota come nel primo periodo l'Italia del centro nord, presenta per lo scenario RCP 4.5 un numero medio di ondate di calore pari a 1-2, 2-3 e un massimo di 3-6. Questo dimostra come nello scenario di stabilizzazione, in un futuro immediato, gli eventi estremi non aumenteranno in modo esponenziale, considerando, infatti che



solo nel 2015 in Piemonte vi sono susseguite 6 ondate di calore e nel 2016 un numero pari a 4. Nello stesso periodo ma immaginando uno scenario più negativo, ovvero RCP 8.5, la quantità degli eventi estremi aumenterà, includendo il range 6-12. In un futuro più lontano, invece, le ondate di calore saranno decisamente più frequenti. Sia per quanto riguarda lo scenario medio, nel quale si avrà un aumento fino a 12-15 eventi di temperatura estrema, sia per lo scenario peggiore che mostra una previsione uniforme e pessimistica per il territorio italiano, in quanto si avrà una crescita delle ondate di calore a 15-33. Nonostante, quindi, questo modello presenti alcuni difetti a causa della mancanza di dati per l'Italia meridionale e le isole, è comunque evidente che la situazione si aggraverà. Le alte temperature che tutt'ora nel periodo estivo provocano morti e condizioni climatiche insopportabili, nel futuro saranno più frequenti e più insopportabili per la maggiore intensità.

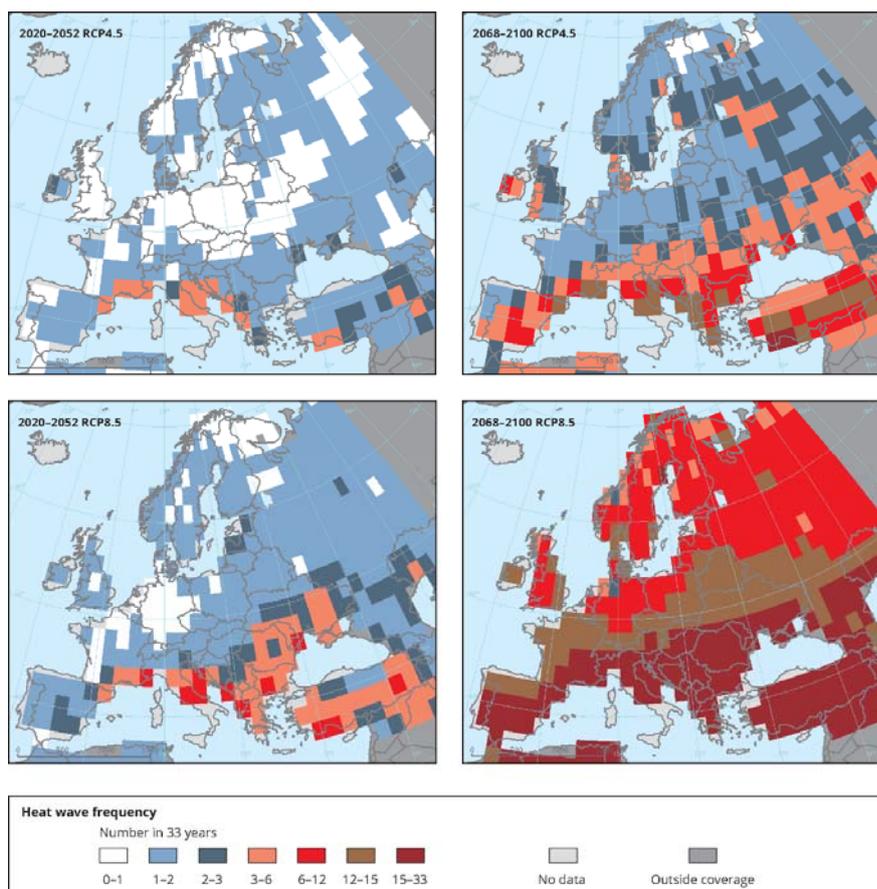


Figura 1-14: Rappresentazione grafica del numero di ondate di calore che si susseguiranno nei due periodi 2020-2052 e 2068-2100 per i due scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 [EEA (2012), *Climate Change and Vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*, EEA, Copenhagen e <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves>].



Anche l'Ispra (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) ha lavorato sulle ondate di calore applicate agli scenari IPCC, all'interno della pubblicazione "Il Clima Futuro in Italia: analisi delle proiezioni e dei modelli regionali" del 2015. Il documento dimostra, attraverso le due mappe in figura 1-15 e figura 1-16, i cambiamenti nella frequenza degli eventi, misurata in giorni di ondate di calore. Le mappe analizzano le modifiche su tre differenti periodi (2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090) rispetto al valore medio di riferimento 1971-2000, considerando prima lo scenario RCP 4.5 e poi quello più negativo RCP 8.5. Su di essi sono stati applicati diversi modelli regionali, tra i quali il COSMO-CLM elaborato dal CMCC e descritto precedentemente. In entrambi gli scenari gli aumenti sono consistenti ma sono particolarmente visibili in quello RCP 8.5. Ad esempio nel periodo trentennale 2061-2090, i valori medi previsti dai quattro modelli regionali sono compresi tra i +30 e i +93 giorni di ondate di calore per lo scenario RCP 4.5 e compresi tra i +76 e i +182 giorni per lo scenario RCP 8.5. In generale la crescita maggiore avviene al Nord e sul versante tirrenico, con incrementi ovunque superiori a +40 e +60 giornate rispettivamente per lo scenario RCP 4.5 e RCP 8.5.

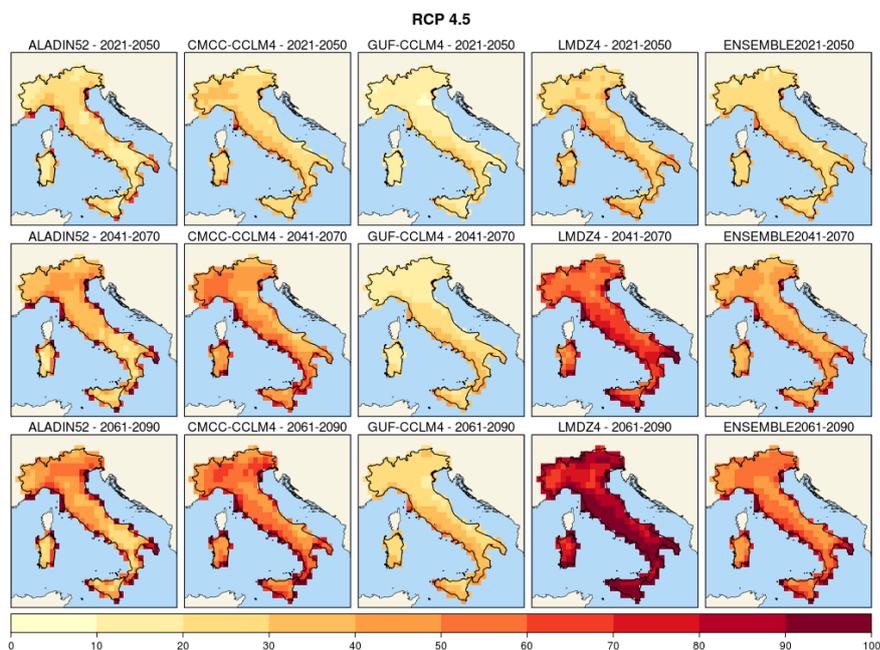


Figura 1-15: Scenario RCP 4.5, rappresentazione grafica del cambiamento nei giorni di ondate di calore in tre differenti periodi, analizzato attraverso quattro modelli regionali [Ispra (2015), Il Clima Futuro in Italia: analisi delle proiezioni e dei modelli regionali, Settore editoria Ispra, Roma].

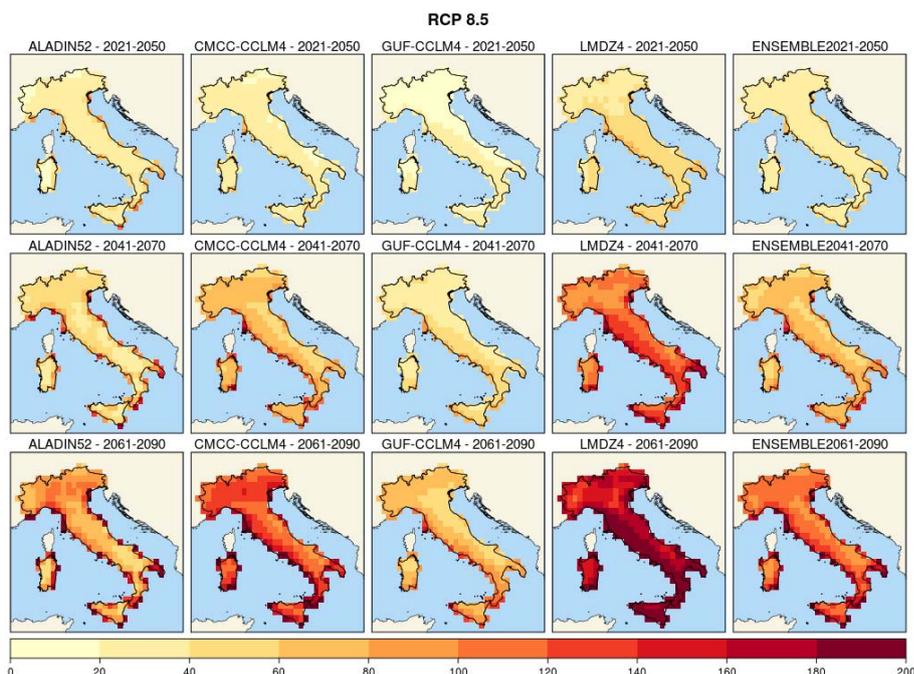


Figura 1-16: Scenario RCP 8.5, rappresentazione grafica del cambiamento nei giorni di ondate di calore in tre differenti periodi, analizzato attraverso quattro modelli regionali [Ispra (2015), Il Clima Futuro in Italia: analisi delle proiezioni e dei modelli regionali, Settore editoria Ispra, Roma].

Questo dimostra, come soprattutto nelle grandi città del nord d'Italia, la popolazione sia maggiormente a rischio in un futuro prossimo. Ciò significa che, senza adeguate strategie di adattamento, aumenteranno i numeri di decessi e di ricoveri nelle strutture ospedaliere, i costi sanitari e sociali e il fabbisogno di energia e acqua, comportando un rapido decadimento della società e dell'ambiente.



1.4. LE CAUSE TERRITORIALI

Come dimostrano tutti gli studi analizzati, da quelli prodotti a livello nazionale dall'Arpa, Legambiente, Assessorati all'Ambiente, Ministero della Salute, studiosi...etc e a livello internazionale dal WMO, WHO, OMS, IPCC, CMCC... etc, si è compreso che le ondate di calore sono molto più frequenti e intense in presenza di grandi aree urbane. Le cause sono molteplici: in generale la vasta cementificazione e la scarsa vegetazione che aiuta a rinfrescare; la densità abitativa; l'inquinamento dato dal traffico e dalle industrie. In particolare la morfologia della città che comporta strade strette e palazzi molto alti, consentendo una scarsa ventilazione e una maggiore riflessione dei raggi solari e il grande fabbisogno di acqua ed energia.

Una delle cause che racchiude in sé quasi tutti gli aspetti e le conseguenze negative del caldo nelle città è l'Isola di Calore Urbano (UHI). Le città, soprattutto quelle di dimensioni notevoli, durante la stagione estiva registrano, infatti, un clima caratterizzato da temperature elevate e in particolare valori più alti rispetto alle aree circostanti non urbanizzate.

1.4.1. LE ISOLE DI CALORE URBANO UHI

L'Arpa Emilia-Romagna definisce le Isole di Calore Urbano (UHI, Urban Heat Island) come "un fenomeno microclimatico che si verifica nelle aree metropolitane e consiste in un significativo aumento della temperatura nell'ambito urbano rispetto alla periferia della città e, soprattutto, alle aree rurali circostanti". Nella figura 1-17 viene raffigurata l'intensità dell'edificato e la temperatura media. Si può notare, proprio come la linea della temperatura segue pari passo la densità della città e dove quest'ultima è maggiore anche la temperatura ha un picco.

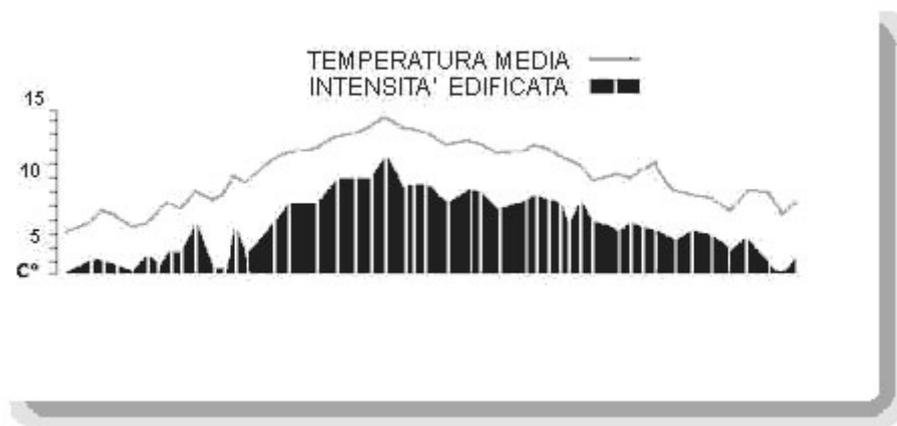


Figura 1-17: Immagine rappresentante l'isola di calore in rapporto all'edificato e alle aree rurali. Si nota come le aree urbane presentino una temperatura maggiore rispetto ai dintorni non urbanizzati [<http://www.comune.torino.it/verdepubblico/patrimonioverde/verdeto/funzioni.shtml>].

Il termine e il concetto "Isola di Calore" non nasce però recentemente ma appare per la prima volta nel 1958 con l'articolo "On the frequency of snowfall in metropolitan England" scritto da Gordon Manley per il Quarterly journal of the royal meteorology society nel 1958. Qui Manley discute sull'effetto del caldo artificiale di Londra relativamente alle nevicate notando la relazione inversa tra la forza dell'isola di calore e la velocità del vento. Il termine, però, era già sorto negli studi su Bath di Balchin e Pye nel 1947, mentre nella seconda traduzione del libro di Kratzer del 1956 la città era descritta come "un'isola nel mare di aria calda prodotta dal terreno" (pag. 96). In realtà in Italia già nel 1840, all'interno della pubblicazione "Notizie topografiche e statistiche sugli Stati Sardi", Luigi Bartolomeis descriveva la temperatura di Torino, focalizzando l'attenzione sulla differenza tra campagna e centro urbano, dove la temperatura è maggiore di 4-5°C. Fu, in seguito, lo studioso Oke ad ufficializzare la definizione e la caratterizzazione delle Isole di Calore. Nel 1982 pubblicò, infatti, un'immagine (fig. 1-18) rappresentante le isoterme su una generica area urbana. Si nota come le temperature abbiano picchi superiori su una densità edilizia elevata, mentre su parchi e acqua l'intensità è minore. Il fenomeno non si verifica solo nelle città di grandi dimensioni, situazioni analoghe si possono riscontrare anche nei centri di minor dimensione e densità. Ovviamente l'intensità dell'isola di calore è direttamente



proporzionale alla dimensione dell'urbanizzato e quindi decresce con il diminuire dell'estensione cittadina.

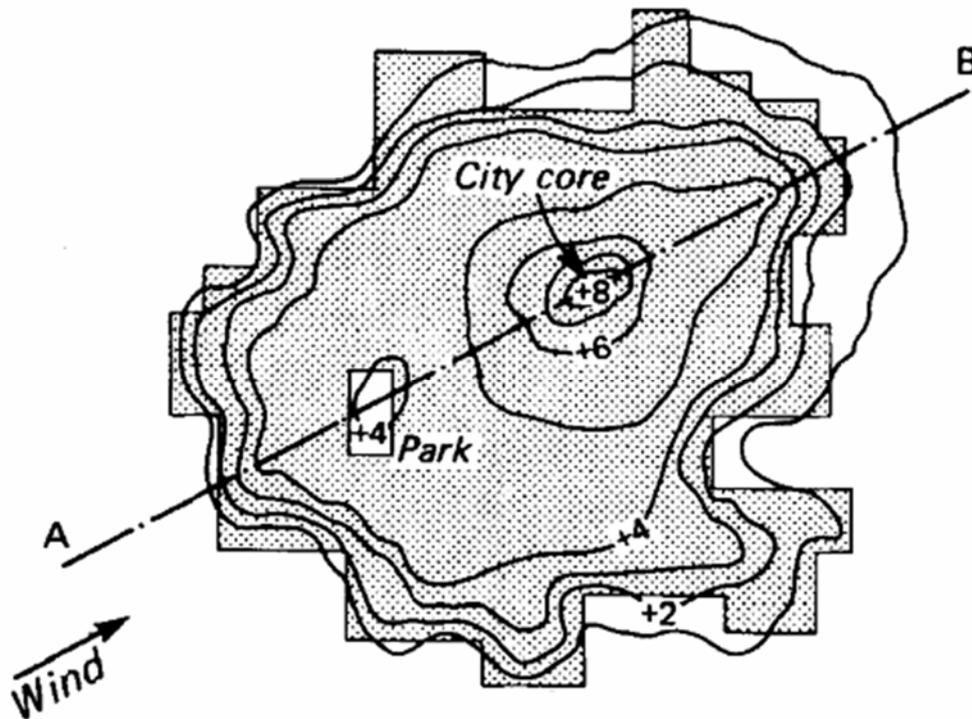


Figura 1-18: Mappa concettuale del 1982, rappresentante le isoterme con temperatura maggiore nel centro e minore sui parchi e verso l'esterno dell'abitato [Oke T. R. (1982), "The Energetic Basis of the Urban Heat Island", Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 108, pag. 1-24].

Nel 1997 Oke enunciò, inoltre, che le città con più di un milione di abitanti registrano una temperatura media annua di 1-3°C superiore alle zone rurali limitrofe. Questo dimostra che il fenomeno delle isole di calore si è sviluppato nei decenni e velocemente si sta trasformando con effetti sempre peggiori.

Come si nota dall'immagine vengono denominate isole per la loro caratteristica forma, ripresa dalle isoterme che denotano i punti con la medesima temperatura.



Le cause che producono le isole di calore e che influiscono anche sulle ondate di calore sono in primis la vasta urbanizzazione che negli ultimi anni ha portato alla crescita esponenziale della popolazione urbana e dell'edificato, con un conseguente aumento del consumo di suolo. Altre fonti scatenanti riguardano quattro componenti generali, ovvero:

- la morfologia urbana caratterizzata dalla densità, altezza degli edifici, ampiezza stradale, presenza di vegetazione, presenza di corsi d'acqua;
- il contesto ambientale che include la latitudine e altitudine, la direzione e la velocità del vento e la vicinanza a grandi bacini d'acqua;
- gli edifici e i materiali che comportano differenti albedo della superficie, diverse capacità termiche ed emissività;
- la componente umana racchiudente il fattore antropogenico, il traffico veicolare, la presenza di industrie e l'inquinamento.

Tutte queste componenti influiscono sulle condizioni atmosferiche interpolandosi tra di loro. Non agiscono singolarmente, ma la loro sovrapposizione dà vita ad altri fattori. Ad esempio la composizione morfologica dell'urbano e dei fabbricati modifica le superfici radiative e gli scambi di energia tra di essi, con una riduzione della velocità di raffreddamento delle aree urbane. Le isole di calore non permettono, infatti, la diminuzione delle temperature durante la notte a causa della presenza del "canyon urbano". Condizione per la quale una quantità maggiore di radiazione riflessa rimane intrappolata, a causa delle multiple riflessioni provocate dall'orientamento e dal materiale degli edifici e dallo sfondo stradale.

Tutto ciò ha un'importante ricaduta sulle ondate di calore poiché ne aumenta le insopportabili conseguenze estive, incidendo sul comfort umano, sulla salute, sull'inquinamento dell'aria urbana e sulla gestione dell'energia. Questo effetto climatico locale, inoltre, è peggiorato dal cambiamento climatico globale che aggiunge un ulteriore carico termico, accentuandone l'effetto.



1.5. LE CONSEGUENZE SANITARIE: LA MORTALITA' ESTIVA

Le ondate di calore e le relative problematiche che ne conseguono, colpiranno un numero sempre maggiore di persone. Si prevede, infatti, che nel 2050 il tasso di urbanizzazione sarà pari a circa il 70%, aumentando rispetto al 1950, anno in cui la popolazione urbana rappresentava il 30% dell'intera popolazione mondiale e solo nel 2014 il valore di persone che vivevano in aree urbane si attestava al 54% (United Nations, 2014). Come descritto, inoltre, nel capitolo precedente, le città sono le aree che più risentono degli effetti del caldo estremo. Le aree metropolitane e la conseguente elevata densità abitativa provocano delle alterazioni microclimatiche accompagnate dal verificarsi di anomalie termiche, che si riflettono sugli abitanti stessi. La stretta relazione tra temperature estreme e mortalità è stata, infatti, duramente sottolineata durante il *Workshop* denominato *Piano nazionale di prevenzione degli effetti del caldo sulla salute*, indetto dal Ministero della salute, dal Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie e dal Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio a Roma il 17 ottobre del 2017. Tra i documenti appartenenti alla sezione *Interviste ai Relatori* sono ritrovabili alcuni interessanti studi che riportano la mortalità e il caldo. Uno di questi è il documento intitolato "I decessi attribuibili agli effetti del caldo nelle città italiane", nel quale Matteo Scortichini ha evidenziato il fenomeno della mortalità estiva attraverso un grafico immediato e altamente significativo che rapporta il crescere delle temperature apparenti massime al rischio di decessi negli anziani over 65 anni. La curva dimostra una crescita esponenziale del rischio che comporta un forte aumento della mortalità.

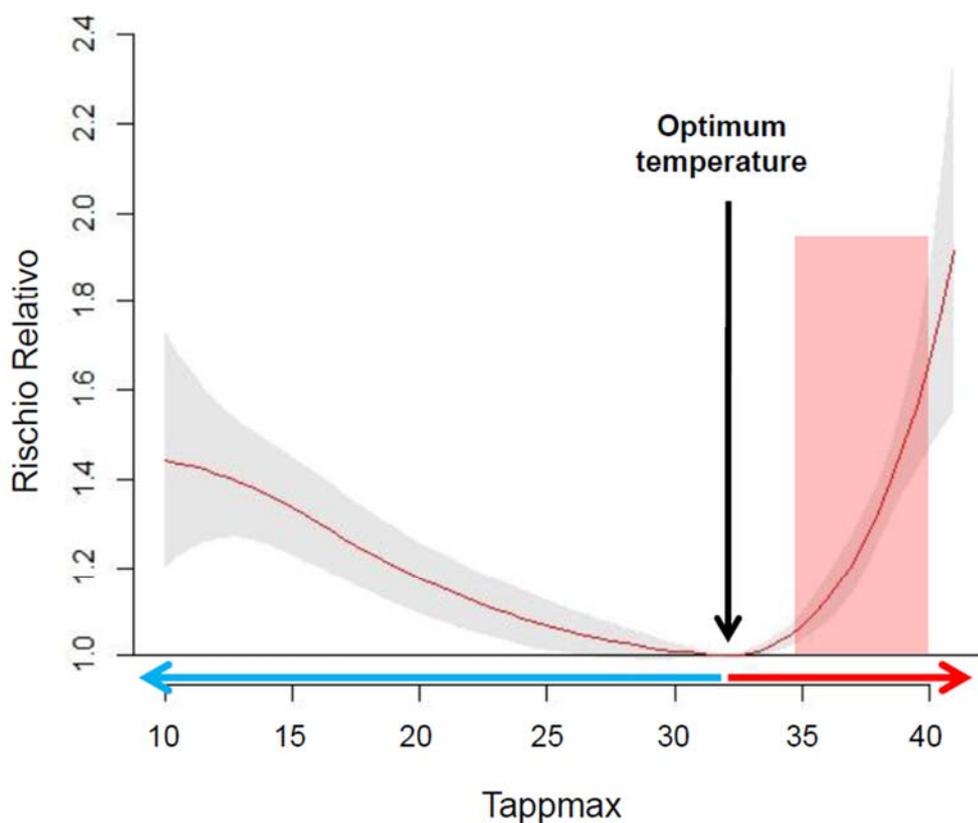


Figura 1-19: Grafico che mette in rapporto il rischio di mortalità tra la popolazione over 65 anni e il crescere delle temperature [Scortichini M. (2017), "I decessi attribuibili agli effetti del caldo nelle città italiane", Workshop Piano nazionale di prevenzione degli effetti del caldo sulla salute, Interviste ai Relatori, Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, Roma].

Sintomatica è anche la tabella all'interno dello stesso studio di Matteo Scortichini, che mette in evidenza per sedici città le frazioni di mortalità attribuibili alle temperature estreme dal freddo al caldo. Torino, tra le città del nord Italia che comprendono oltre alla stessa anche Milano, Padova, Venezia, Trieste e Genova, possiede la più alta frazione percentuale media di decessi attribuibili al caldo, attestandosi sul 2.4. Milano possiede, infatti, una percentuale media stimata al 2.1, Padova 1.7, Venezia 2.3, Trieste 2.1 e infine Genova riporta 1.7.



La rivista scientifica “Nature Climate Change” ha pubblicato, inoltre, nel giugno del 2017 un articolo, che mette in luce come tutt’ora il 30% della popolazione mondiale sia toccato dal fenomeno delle ondate di calore, per un periodo minimo di venti giorni durante l’anno. Se questo dato sulla situazione attuale appare preoccupante, colpiscono ancora di più gli studi sul futuro. Le previsioni rivelano che entro il 2100, il 74% delle persone saranno interessate dai pericolosi effetti delle temperature estreme. Le conseguenze sugli individui possono essere dirette con la manifestazione sintomatologica di fastidi, malattie, peggioramenti di stati pregressi, fino al ricovero in strutture ospedaliere o addirittura al decesso, ma possono essere anche indiretti e palesarsi attraverso fenomeni naturali su vasta scala. Due, in particolare, sono gli eventi catastrofici in grado di peggiorare la situazione climatica, ovvero la desertificazione e la siccità. Lo studio “Atlas of the Human Planet 2017: Global Exposure to Natural Hazards”, condotto dal Joint research Centre della Commissione Europea rivela che 1,1 miliardi di persone sono a rischio. Il cambiamento climatico, infatti, oltre ad innalzare le temperature, diminuisce le precipitazioni, portando a periodi estivi di siccità che ledono la salute, soprattutto di poveri e anziani. In Italia il 21% del territorio è a rischio desertificazione e di questa percentuale il 41% delle zone sono localizzati nella parte meridionale.

1.5.1. LA MORTALITÀ ESTIVA IN PIEMONTE

Ogni anno l’Arpa Piemonte (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) pubblica una relazione contenente la valutazione della mortalità estiva per i capoluoghi di provincia nella regione piemontese. Il documento riporta precisi dati numerici, comparati anche rispetto ad anni precedenti. In particolare la valutazione del 2015 evidenzia come in Italia i decessi abbiano raggiunto numeri altissimi nel periodo estivo (fig. 1-20).

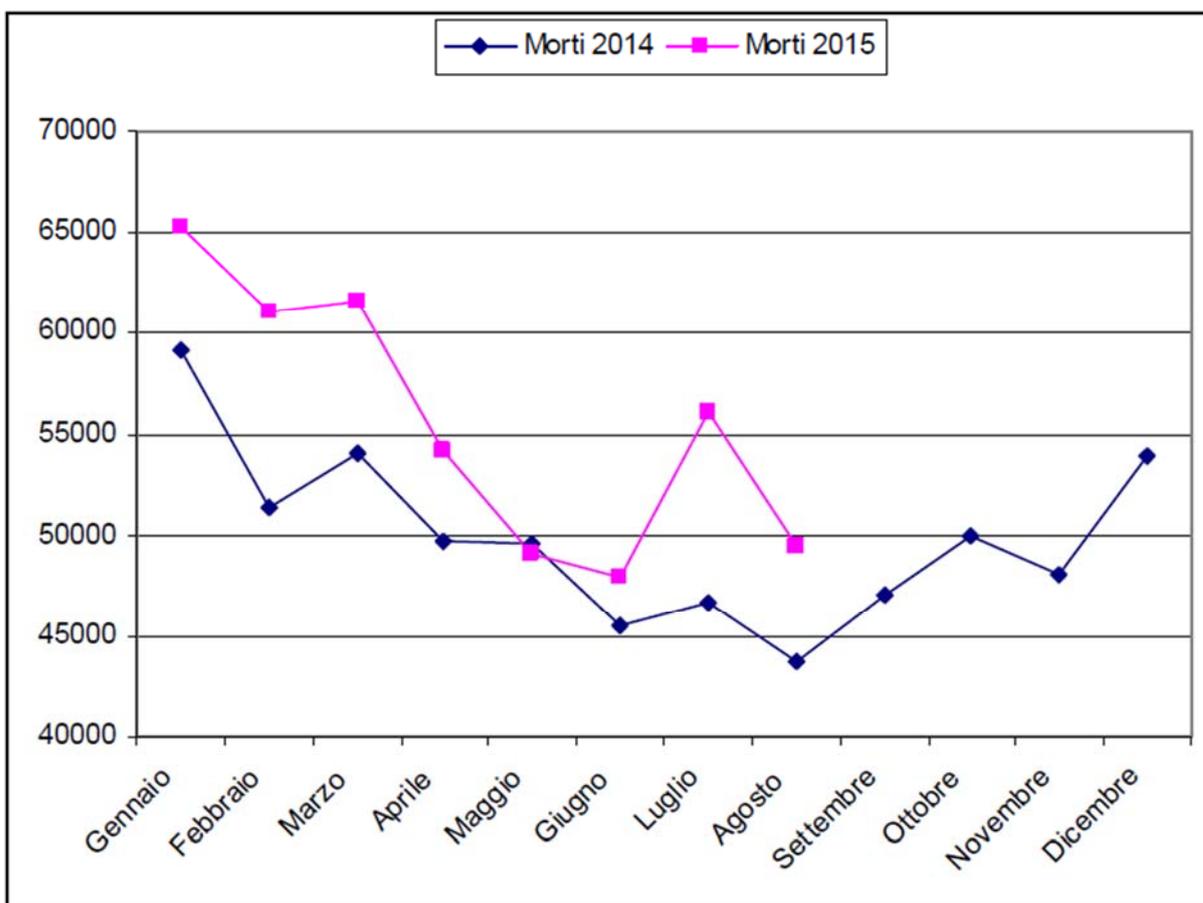


Figura 1-20: Grafico rappresentante i decessi annuali del 2014 e del 2015, suddivisi per mese. Elaborazione dei dati ISTAT sul bilancio demografico nazionale 2014 e 2015 [Arpa (2015), Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino].

In particolare i decessi avvenuti in tutti i capoluoghi della regione Piemonte, durante i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre del 2015, sono stati 4.237 e più della metà di questo numero, ovvero 2.836, sono, invece, gli individui morti a Torino. È importante, inoltre, tenere in considerazione che la popolazione non viene colpita tutta allo stesso modo dagli effetti delle ondate di calore, ma come descritto nel capitolo 1.2.3. le fasce più a rischio sono gli anziani, le donne in gravidanza, i poveri e i malati cronici. L'Arpa, analizzando i dati numerici ha suddiviso la popolazione in quattro categorie di età, ponendo l'attenzione sulla fascia più debole e che racchiude un numero maggiore di decessi, ovvero quella degli anziani. Ad essa sono destinate tre classi: over 65 anni,



tra 65 e 74 e over 75 anni; la quarta classe racchiude, invece, gli individui tra 0 e 64 anni.

Città	Tot. decessi	Over 65	0-64 anni	65-74 anni	Over 75
Torino	2.836	2.561	275	377	2.184
Totale capoluoghi	4.237	3.832	405	541	3.291

Tabella 1-1: Rielaborazione della tabella sulla mortalità estiva per fasce di età [Arpa (2015), Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino].

Dalla tabella 1-1 si evince un'elevata quantità di decessi per la fascia over 65 con 2.561 morti per Torino e 3.832 per la totalità dei capoluoghi. Ma il dato che più cattura l'occhio è il numero di individui colpiti fatalmente nella classe over 75, con 2.184 morti per Torino e 3.291 per l'insieme dei capoluoghi. Si capisce, quindi, come un'età superiore ai 75 anni incida moltissimo sulla sopravvivenza dell'individuo durante la stagione estiva. Nel numero registrato di decessi per gli over 65 sono racchiusi anche i decessi over 75 e perciò la reale quantità di avvenimenti fatali tra i 65 e i 74 anni è di 377 persone per Torino e 541 per tutti i capoluoghi. Il dato che, invece, influisce di meno è proprio quello tra 0 e 60 anni, confermando che lo stato avanzato dell'età condiziona in modo particolare la probabilità di decessi estivi, gravandone sull'esposizione al rischio.

1.5.1.1. La mortalità estiva nella città di Torino

Concentrandosi sul caso della città di Torino, l'Arpa ha suddiviso le morti secondo tre modalità:

- i luoghi del decesso;
- le morti osservate, attese e quelle in eccesso
- il confronto tra differenti anni compresi tra il 2003 e il 2015.

Queste tre categorie contengono differenti dati in base al sesso e l'età degli individui oppure il periodo.



Nello specifico le tabelle, rielaborazione delle tabelle Arpa, per i luoghi del decesso sono:

Luogo del decesso → sesso degli individui

Luogo	Femmine	Maschi
Abitazione	537	392
Istituti di cura pubb./privati	953	907
Altro	29	18

Tabella 1-2*

Luogo del decesso → Over 65, sesso degli individui

Luogo	Femmine	Maschi
Abitazione	509	342
Istituti di cura pubb./privati	885	785
Altro	28	12

Tabella 1-3*

Luogo del decesso → periodo

Luogo	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Abitazione	123	196	300	189	121
Istituti di cura pubb./privati	223	421	536	465	215
Altro	5	5	20	14	3

Tabella 1-4*



Luogo del decesso → Over 65, periodo

Luogo	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Abitazione	111	173	278	178	111
Istituti di cura pubb./privati	193	384	485	412	196
Altro	4	5	15	13	3

Tabella 1-5*

Le tabelle indicanti le morti osservate, attese e quelle in eccesso sono, invece:

Decessi osservati, attesi e in eccesso → Over 65, con ondata di calore e senza

	Osservati	Attesi	Eccesso
Con	1.822	1.417	405.2
Senza	739	667	72.5

Tabella 1-6*

Decessi osservati, attesi e in eccesso → Over 65, per periodo

	Osservati	Attesi	Eccesso
Maggio	308	289.2	18.8
Giugno	562	536.3	25.7
Luglio	778	523.1	254.9
Agosto	603	201.8	101.2
Settembre	310	232.9	77.1

Tabella 1-7*



Le tabelle, infine, che mostrano il confronto dei decessi nel periodo tra il 2003 e il 2015 sono:

Confronto mortalità estiva → Over 65, per periodo

Anno	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Totale
2015	308	562	778	603	310	2.561
2014	326	542	530	501	292	2.191
2013	348	577	568	576	259	2.328
2012	307	511	515	549	254	2.136
2011	337	550	514	609	259	2.269
2010	286	520	628	482	225	2.141
2003	271	639	584	802	229	2.525

Tabella 1-8*

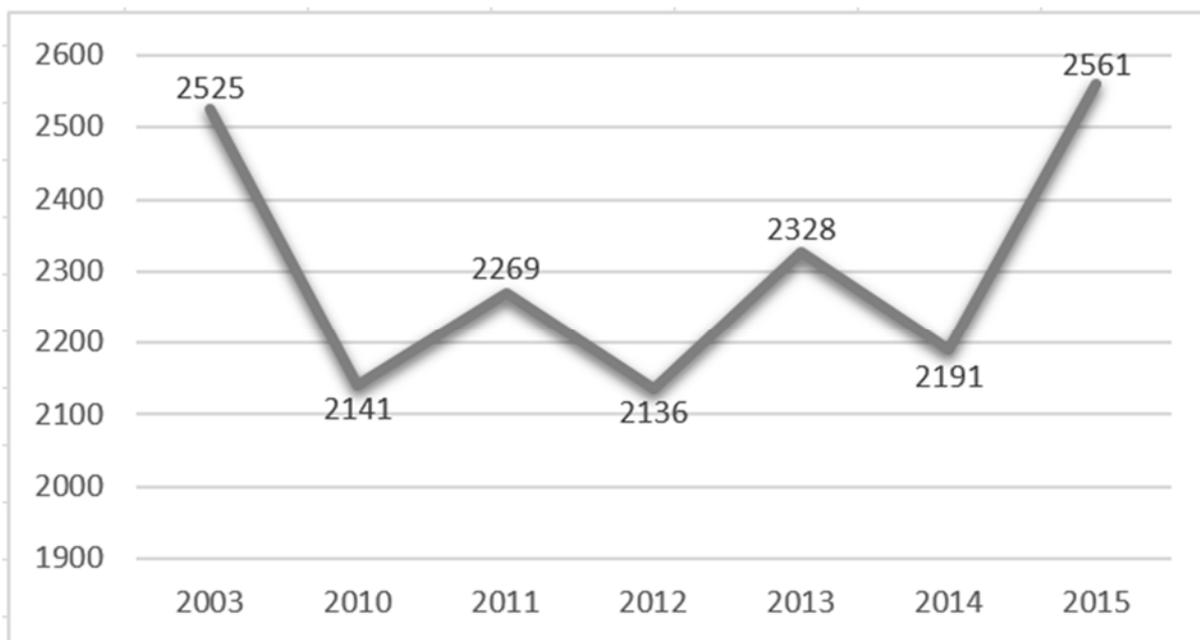


Figura 1-21: Grafico rappresentante il confronto del numero di decessi tra gli over 65, dal 2003 al 2015, a Torino
[produzione propria da dati Arpa, 2015].

* Le tabelle sopra riportate sono una rielaborazione di quelle contenute nel documento "Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015" redatto dall'Arpa nel dicembre 2015.



I dati contenuti nelle tabelle e nel grafico, forniscono un'idea più chiara su cosa avviene durante il periodo estivo. Si nota, infatti, che alcune situazioni sono ricorrenti, ad esempio:

- il mese più caldo è quello di luglio seguito da agosto e successivamente da giugno;
- le donne sono più colpite rispetto agli uomini, soprattutto tra gli Over 65. Ciò è dovuto al fatto che le donne sono più longeve e spesso rimangono vedove, diventando soggetti deboli molto esposti agli effetti delle ondate di calore;
- gli anziani over 65 sono quelli che maggiormente soffrono il caldo estremo rispetto all'intera popolazione, costituiscono infatti il 90% della popolazione a rischio;
- il decesso del 90% degli over 65 avviene negli istituti di cura pubblici e privati, per questo è importante valutare anche il costo delle morti, che fornisce un'idea più chiara di quanto le ondate di calore siano impattanti a livello anche economico e non solo per la salute;
- infine è importantissimo notare come tra gli over 65 i decessi osservati con ondate di calore siano il 40% in più rispetto a quelli osservati senza ondate di calore.

Dal grafico (fig. 1-21) si evince, inoltre, che gli eventi più disastrosi sono stati proprio quelli del 2015 e del 2003. Si hanno, poi due altri valori molto alti che corrispondono al 2013 e al 2011. In generale, comunque, il verificarsi di decessi segue un andamento positivo negli ultimi anni, con valori molto elevati.

In conclusione da questi risultati emerge ancora più evidente come le ondate di calore siano effettivamente un fenomeno impattante e che mette a rischio moltissima popolazione. Un numero decisamente maggiore rispetto ad una situazione senza la presenza di temperature estreme.



1.5.1.2. Il costo sanitario

I decessi dovuti alle ondate di calore non rappresentano solamente una perdita a livello umano ma anche a livello finanziario. Gli individui che presentano sintomatologia dovuta al caldo estremo vengono, infatti, ricoverati in strutture ospedaliere. Sia che essi vengano curati e si riprendano, oppure nel peggiore dei casi giungano al decesso, la degenza e le cure in ospedale presentano dei costi elevati. Inoltre non bisogna dimenticare che le statistiche (esaminate in precedenza nel capitolo 1.5) dimostrano che la maggior parte delle persone che hanno perso la vita sono comprese nel gruppo degli over 65 e la morte è avvenuta proprio dopo il ricovero in strutture ospedaliere. Ciò ha, quindi, un grave impatto sulle finanze e le ondate di calore vengono a rappresentare un impatto economico non indifferente.

In particolare dai dati pubblicati dal Ministero dell'Economia e delle Finanze – Commissione Tecnica per la Finanza Pubblica, nel Libro verde sulla spesa pubblica del 2007 e dall'articolo sulle degenze ospedaliere in Italia pubblicato da Libero nel 2007, emerge che il costo medio per posto letto al CTO (Centro Traumatologico Ospedaliero) di Torino è pari a 309.379 €, mentre il costo medio per un ricovero è pari a 6.223 €. Infine sempre al CTO di Torino, il costo medio per giornata di degenza è di 1.144 €. Considerando ad esempio gli Over 65 ricoverati in istituti di cura durante i mesi estivi, si scopre che il costo, nel 2015, è stato di 1.910.480 € per un solo giorno di degenza, mentre per il ricovero si arriva a 10.392.410 €, con una spesa nel solo mese di luglio rispettivamente di 554.840 € e 3.018.155 €. Ovviamente i costi lievitano se si pensa anche a coloro che sono più giovani e quindi tra 0 e 64 anni. Negli anni, inoltre, le spese ospedaliere sono cresciute, proporzionalmente all'aumento del numero di ricoveri e decessi. La tabella 1-9, sotto riportata, mette a confronto i costi dal 2003 al 2015 per gli anziani over 65 anni, riprendendo la tabella del numero di morti (tabella 1-8, nel capitoletto precedente 1.5.1.1) e moltiplicando il totale per il costo esposto sopra.



Confronto mortalità estiva 2003-2015 → Over 65, per 1 giorno di degenza e per ricovero in strutture ospedaliere.

Anni	Numero totale	Per 1 gg di degenza	Per un ricovero
2015	2.561	2.929.784 €	15.937.103 €
2014	2.191	2.506.504 €	13.634.593 €
2013	2.328	2.663.232 €	14.487.144 €
2012	2.136	2.443.584 €	13.292.328 €
2011	2.269	2.595.736 €	14.119.987 €
2010	2.141	2.449.304 €	13.323.443 €
2003	2.525	2.888.600 €	15.713.075 €

Tabella 1-9: Elaborazione propria che riporta un'ipotesi dei costi, ottenuti dalla moltiplicazione del totale dei decessi forniti dall'Arpa nella "Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015" del dicembre 2015 per il costo unitario ricavato dal Libro verde sulla spesa pubblica del 2007 del Ministero dell'Economia e delle Finanze e dall'articolo sulle degenze ospedaliere in Italia pubblicato da Libero nel 2007.

Con un rapido confronto tra i morti con ondata di calore e senza ondata di calore, emerge chiaramente che il costo è superiore quando avviene un evento estremo. La tabella 1-10 lo dimostra.

Confronto mortalità estiva 2015 con ondata di calore e senza → Over 65, per 1 giorno di degenza e per ricovero.

Over 65	Numero	Per 1 gg di degenza	Per un ricovero
Con ondata di calore	1.822	2.084.368 €	11.338.306 €
Senza ondata di calore	739	845.416 €	4.598.797 €

Tabella 1-10: Elaborazione propria che riporta un'ipotesi dei costi con ondate di calore e senza, moltiplicando il numero dei decessi forniti dall'Arpa nella "Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015" del dicembre 2015 per il costo unitario ricavato dal Libro verde sulla spesa pubblica del 2007 del Ministero dell'Economia e delle Finanze e dall'articolo sulle degenze ospedaliere in Italia pubblicato da Libero nel 2007



2. EVOLUZIONE STORICA DELLE TEMPERATURE E DELLE ISOLE DI CALORE DA TELERILEVAMENTO DELLA LAND SURFACE TEMPERATURE

2.1. TELERILEVAMENTO DELLA LAND SURFACE TEMPERATURE

La Land Surface Temperature o LST è un indice che misura quanto il suolo è caldo ed è differente dalla temperatura dell'aria (ovvero quella data dalla meteorologia), poiché la terra si scalda in modo più veloce rispetto all'aria. La LST viene considerata, perciò, come un determinante del comportamento termico terrestre, che controlla la temperatura radiativa della superficie della Terra. In realtà a causa dell'eterogeneità delle superfici e dei valori che la compongono, non è facile stimarla. Attraverso il telerilevamento attraverso satelliti viene registrato, infatti, ciò che il sensore satellitare vede dall'atmosfera fino al suolo, misurando il calore prodotto dalla superficie terrestre. Nello specifico, quindi, la LST è la temperatura radiativa misurata nella direzione del sensore remoto. Questa è stimata mediante la temperatura di brillantezza della TOA, ovvero la Top of Atmosphere e attraverso i canali spettrali ad infrarosso, grazie ai sensori contenuti nei satelliti. La valutazione dipende, inoltre, dai valori dell'albedo, della copertura vegetativa e dall'umidità del suolo. Quest'ultimi due indici rispondono velocemente ai cambiamenti atmosferici apportati dalla radiazione solare, dalla copertura nuvolosa, dalle modifiche portate dall'aerosol e dalla variazione giornaliera dell'illuminazione. La LST, oltre a rispecchiare, quindi, queste variazioni, influenza anche la partizione dell'energia tra il suolo e la vegetazione e determina la temperatura dell'aria superficiale. Il metodo per estrarre i valori della LST è quindi utilizzare il telerilevamento, termine con il quale si intende l'utilizzo degli strumenti satellitari. Molti satelliti contengono, infatti, un dispositivo denominato TRS (Thermal Remote Sensing) che permette il telerilevamento termico registrando i TIR ovvero gli infrarossi termici (Thermal Infrared). Ogni corpo, infatti, che abbia temperatura maggiore di zero, emette una quantità di energia che varia in base alla lunghezza d'onda e alla temperatura del corpo preso in considerazione. Il TRS calcola, quindi, la radiazione elettromagnetica riflessa dalla superficie terrestre nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso. In particolare



il satellite registra il numero di bande spettrali (lunghezze d'onda) in cui è diviso l'intervallo di sensibilità spettrale del sistema in considerazione.

Vi sono molti satelliti e sensori utilizzati per calcolare la LST e soprattutto diverse metodologie. Uno di questi è il LANDSAT-8 della NASA, che fornisce undici bande spettrali, attraverso i sensori TIRS e OLI. Le bande utili per la trasformazione in temperatura sono la banda 10 e 11, ovvero le bande termiche che hanno una risoluzione di 100 m. L'utilizzo del LANDSAT comporta, però, un processo lungo di conversione per trasformare le bande termiche in vera e propria temperatura. La conversione viene chiamata calibrazione, poiché, le immagini delle bande sono composte da DN (Digital Number), ovvero numeri quantizzati in scala digitale, che dovranno essere trasformati in TOA (Top of Atmosphere) Radiance, ovvero la radianza spettrale al sensore, attraverso le equazioni fornite dalla stessa NASA. Dopo questa modifica, è necessario convertire la TOA Radiance in Temperatura di brillantezza al satellite. Per poter giungere alla LST bisogna, però, calcolare l'indice di vegetazione normalizzato NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), che servirà a sua volta per scovare il fattore Pv (Proportion of Vegetation), utile per quantificare l'emissività (ϵ). Si hanno così tutti i dati necessari da inserire nella formula della LST.

2.1.1. MISURA DELLA LST ATTRAVERSO IL SENSORE MODIS

Come visto sopra la quantificazione della LST attraverso il satellite LANDSAT è un processo lungo e complicato. Esiste, invece, un metodo efficace e breve che consiste nell'avvalersi delle immagini satellitari fornite dal satellite TERRA della NASA, che monta il sensore denominato MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), con una risoluzione spaziale di 1 km. Per la valutazione termica nel tempo, di un vasto centro urbano, come Torino, la risoluzione di 1 km, anche se non raggiunge il dettaglio del LANDSAT, è l'ideale, poiché la scala sia geografica che temporale del caso analizzato è ampia.

2.1.1.1. Specifiche del sensore

Il sensore MODIS è posizionato sul satellite TERRA, che svolge un'orbita polare o eliosincrona e che corrisponde ad un movimento intorno al pianeta Terra da Nord a



Sud. Mentre, infatti, il satellite si sposta verticalmente, la Terra ruota sul proprio asse in direzione Est-Ovest.

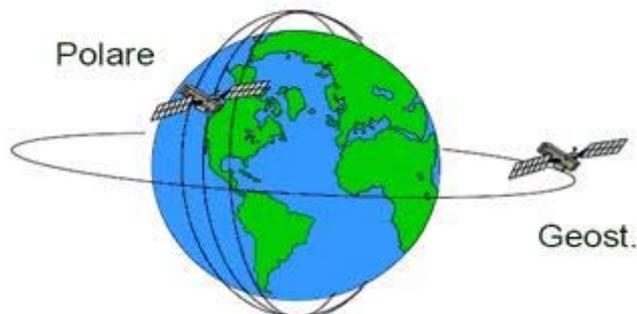


Figura 2-1: Figura che dimostra la presenza di due principali orbite, quella geostazionaria, in generale utilizzata dai satelliti per le telecomunicazioni e per la meteorologia e quella polare, percorsa invece dai satelliti quali il TERRA [<https://gisetelerilevamento.wordpress.com/tag/orbita-polare/>].

Il satellite è regolato in modo che effettui la registrazione alla stessa ora locale del giorno, raggiungendo alle dieci e trenta del mattino il nodo discendente. Per poter mettere a confronto, infatti, delle immagini satellitari rilevate durante diversi anni, le condizioni di luce devono essere pressoché uguali. Ogni volta, perciò, che il satellite termina una rotazione completa ha effettuato la scansione di una striscia della superficie terrestre. Per effettuare un'orbita completa il satellite ci impiega 101 minuti mentre il sensore MODIS copre trasversalmente una striscia di terra pari a 2.330 km. Così dopo un certo numero di rotazioni si conseguirà la rilevazione dell'intera estensione della Terra. Siccome il satellite TERRA non risulta troppo distante dalla Terra poiché è posizionato a 720 km da quest'ultima ed esegue una scansione ampia, avendo una risoluzione non troppo alta, in breve tempo e con poche rotazioni riesce a ricoprire l'intera superficie. Solitamente, infatti, MODIS registra tutte le zone del pianeta ogni giorno, con uno scarto massimo che raggiunge i due giorni.

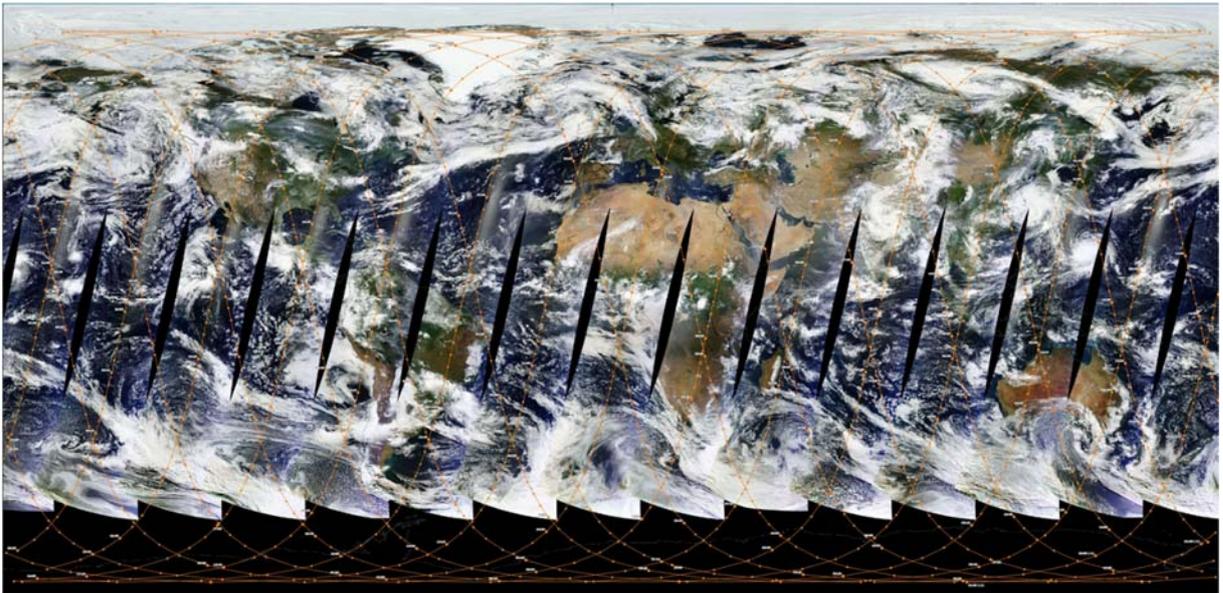


Figura 2-2: Immagine rappresentante la scansione di tutto il pianeta attraverso la traiettoria compiuta in direzione Nord-Sud [<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terra>].

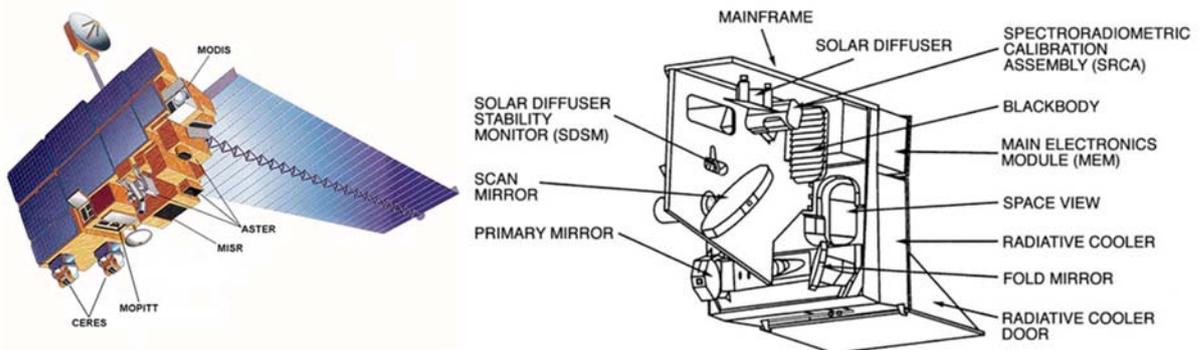


Figura 2-3: A sinistra il satellite TERRA sul quale è visibile il sensore MODIS. A destra le componenti del sensore MODIS [<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php>].

Dal 1999, quando iniziò le sue missioni, TERRA MODIS acquisisce i dati in 36 bande spettrali. Le bande termiche ad infrarossi sono la 29, la 31 e la 32. L'algoritmo per il calcolo della LST è basato sull'utilizzo delle temperature radiative per la correzione atmosferica e un modello di emissività basato sulla variabilità nei dati della radianza superficiale. Vengono, quindi, combinati i valori del vapore atmosferico, dell'umidità e del caldo. I risultati mostrano un'accuratezza pari a 1 Kelvin (-272,15 °C) per tutta la superficie, inclusi la vegetazione, l'acqua e il deserto. Il prodotto che verrà utilizzato per le elaborazioni è il "MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3



Global 1km SIN Grid V006" facente parte della collezione MOD11A1. Le emissioni delle bande 31 e 32 sono stimate dai tipi di copertura del terreno, dal vapore acqueo dell'atmosfera e dalla temperatura della superficie dell'aria del limite inferiore. Nell'algoritmo giorno/notte, le Land Surface Temperature diurne e notturne e le emissioni della superficie vengono rilevate da coppie di osservazioni di giorno e di notte in sette bande TIR. Il prodotto è costituito da LST, valutazione della qualità, tempo di osservazione, angoli di vista e emissioni. In sostanza, quindi, la misura della temperatura superficiale del suolo si fonda sulla rilevazione e quantificazione dell'assorbimento, da parte del vapore d'acqua, della radiazione solare riflessa dopo che è stata trasmessa alla superficie.

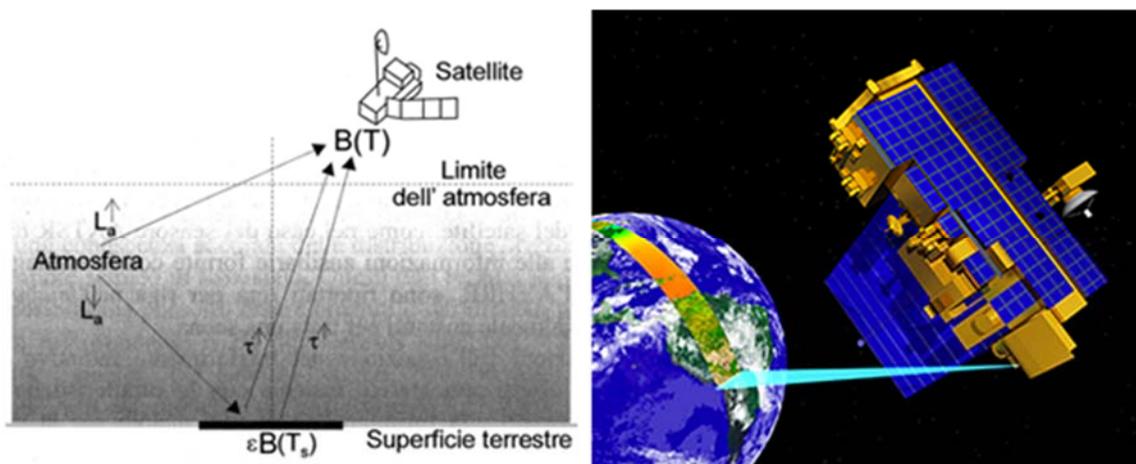


Figura 2-4: A sinistra l'immagine indica il funzionamento della scansione del suolo da parte del satellite [Quattrochi D. A., Luvall J. C. (2004), *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*, CRC Press, New York]. A destra la figura mostra il satellite mentre passa al disopra di una fascia terrestre nell'atto del telerilevamento [<http://www.satnews.com/story.php?number=243562942>].

La LST viene intesa, infatti, come la temperatura radiometrica superficiale corrispondente al campo di vista istantaneo del sensore (Prata, 1995) e per una determinata direzione verso la quale è rivolto il sensore si ha che la LST dipende dalla distribuzione di temperatura e di emissività all'interno di un singolo pixel e dal canale spettrale di misurazione (Becker e Li, 1995). Ogni pixel dell'immagine satellitare fornisce, invero, un contributo casuale poiché pixel non omogenei (Norman e Becker, 1995). La temperatura che si può leggere dal satellite consiste, quindi, nella temperatura termodinamica o assoluta considerata come temperatura di pelle (Dash et al., 2001), nonostante il suolo terrestre sia molto complesso e diversificato. La



temperatura superficiale del terreno è comunque un parametro importantissimo poiché influenza anche la temperatura dell'aria dello strato più basso dell'atmosfera, principale fattore per comprendere gli scambi energetici dati dalle dinamiche termiche nell'ambiente urbano. Di conseguenza il comportamento della temperatura pesa sul comfort termico percepito dalla popolazione nei vari ambienti che quotidianamente frequenta.

2.1.1.2. Che cosa si ottiene dal telerilevamento con il sensore MODIS

Il file che si ottiene dal telerilevamento con sensore MODIS è un file “.hdf” che per poter essere elaborato sulla piattaforma digitale Qgis (Quantum Gis – strumento di analisi spaziale georeferenziata in grado di gestire, integrare e modellare i dati vettoriali o raster, dando vita a prodotti su mappe), necessita di essere trasformato in un'immagine “.tif”. In seguito alla conversione ne risulta un'immagine composta da pixel di 1 km*1 km ed ognuno di questi riporta la temperatura istantanea, ovvero la temperatura ripresa dal satellite nel determinato momento in cui è passato sull'area. Il pixel non rappresenta, quindi, un valore massimo, medio o minimo ma un numero condizionato dal tempo e dallo spazio. Al contrario i metadati del file sono costituiti da statistiche delle temperature medie, massime e minime, che non considerano più il pixel in sé, ma valutano la temperatura totale di tutti i pixel che costruiscono il dato e ne quantificano statisticamente il valore medio, massimo e minimo riscontrabile dall'immagine.



2.2. CONFRONTO DELLE TEMPERATURE E DELLE ISOLE DI CALORE PER I MESI ESTIVI TRA IL 2000 E IL 2015

2.2.1. LO SCOPO E I DATI

Lo scopo principale dell'analisi delle immagini satellitari è quello di fornire l'idea chiara dell'evoluzione seguita dalle temperature e dalle isole di calore, dal passato fino a tempi recenti. In particolare lo studio mira a fornire delle mappe geo-riferite dell'area urbana di Torino, rappresentante in modo chiaro ed intuitivo la stratificazione storica dei valori termici.

Preso in considerazione questo scopo e che lo strumento MODIS ha iniziato le sue missioni nel 1999, si è deciso che le immagini satellitari da utilizzare sarebbero state quelle dell'anno 2000 e quelle del 2015. In particolare si sono scelti i mesi di giugno (06), luglio (07) e agosto (08) che costituiscono in generale i mesi più caldi. Si metteranno, quindi, a confronto le temperature dei mesi corrispondenti, negli anni 2000 e 2015.

2.2.2. CONFRONTO MESI DI GIUGNO (06), LUGLIO (07) E AGOSTO (08) DEL 2000 E DEL 2015

2.2.2.1. Giugno (06) 2000 – Da satellite

Il confronto tra i dati di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015 non è immediato, ma esige un processo di trasformazione dei file.

Il primo passaggio consiste nel scaricare le immagini satellitari di tutti i giorni di giugno del 2000, registrati da MODIS, presenti sul sito della NASA denominato EARTHDATA SEARCH (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>). Osservando i 30 dati, solo una decina di giorni sembrano ottimali. Per ottimali si intende dei dati che non presentano copertura nuvolosa, che in seguito durante l'analisi darebbero vita a valori nulli, sfalsando così l'intero studio.

Lo step successivo è la trasformazione dei file scelti dal formato originario “.hdf” in “.tif”, poiché l'elaborazione dei file andrà effettuata nel programma Qgis e quest'ultimo non supporta gli “.hdf”. Questa operazione è stata effettuata tramite un programma di pre-



processing che porta il nome di Hegtool e scaricabile dal sito della NASA (<https://newsroom.gsfc.nasa.gov/sdptoolkit/HEG/HEGHome.html>). Qui si inserisce il file in formato “.hdf”, facendo la massima attenzione che i nomi del file non abbiano caratteri particolari oppure spazi, così come la cartella in cui sono contenuti. L’immagine satellitare è composta da più layers tra i quali la LST_diurna, che sarà da prediligere per la trasformazione. Si sceglie, quindi, nelle fields il LST_Day_1km, si sceglie l’opzione Nearest Neighbor (ovvero l’interpolazione al punto più vicino) nella tendina denominata Resampling Type, mentre nella tendina Projection si opta per la proiezione UTM. Cliccando su accept e poi run il file in “.hdf” viene trasformato e salvato automaticamente in “.tif”, ed è pronto così per essere elaborato in Qgis.

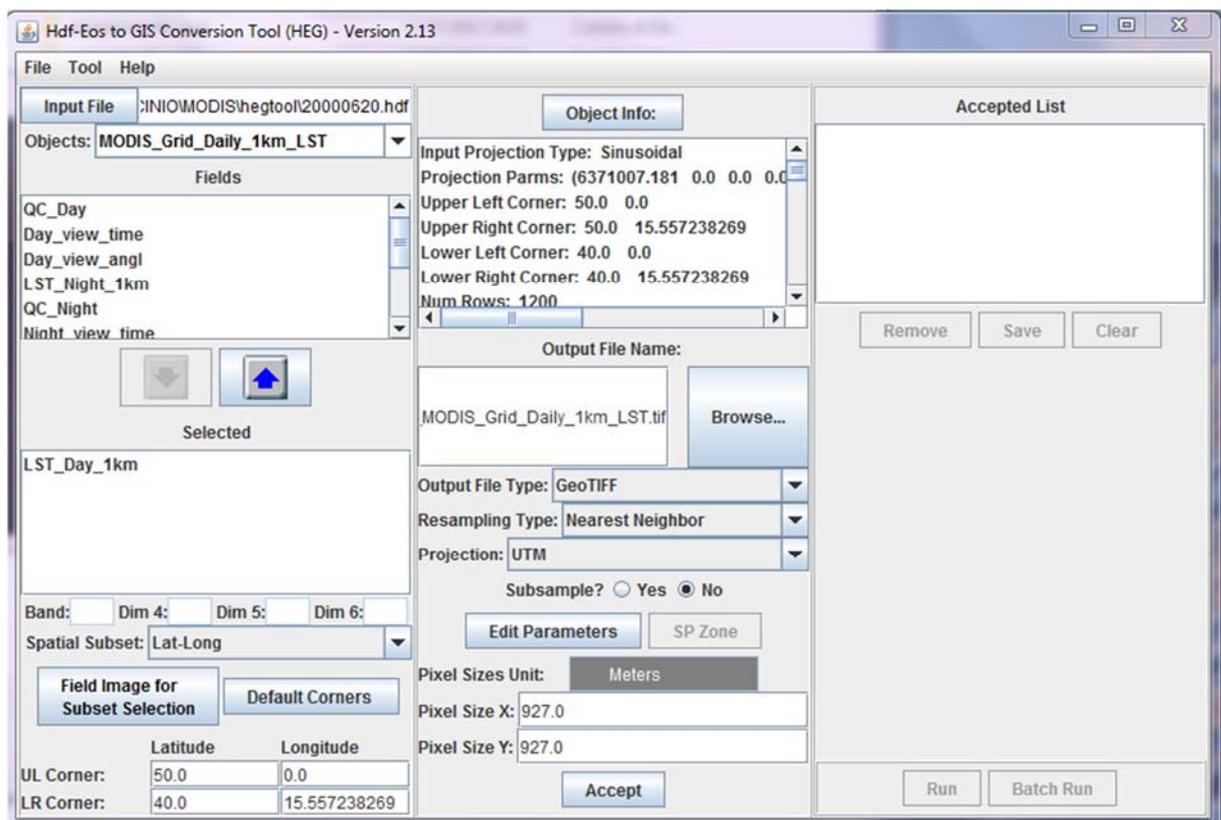


Figura 2-5: Interfaccia del programma Hegtool, per la conversione dei file [screenshot del programma].

Il gradino successivo è l’inserimento di tutti i file trasformati su Qgis contemporaneamente, per osservare quali siano confrontabili. Dalla decina di file che si erano scelti all’inizio e che sembravano buoni, alcuni verranno ancora scartati per la



presenza di troppi valori nulli. È molto difficile, infatti, trovare dei dati buoni poiché anche solo una cella no data fornisce dei valori che vanno a sfalsare la temperatura

I dati, perciò, che per ora si sono presentati come ottimali sono relativi a 6 giorni:

21, 20, 19, 18, 16 e 7.

È necessario, inoltre effettuare un ritaglio di questi file su Qgis, per ridurre l'area e la possibilità di riscontrare problematiche nei dati sfalsati, in modo che la zona rimanente ne presenti il meno possibile.



Figura 2-6: Ritaglio dell'immagine prodotto con Qgis [produzione propria su Qgis].



Si è proceduto poi, per i file ritagliati, nell'utilizzo del raster calculator su Qgis. Questo passaggio è necessario poiché la temperatura fornita dal MODIS è settata in KELVIN con una determinata emissività e perciò la formula per trovare i gradi CELSIUS puri, consiste nel moltiplicare i valori per 0.02 e sottrarre con 273.15.

Nei metadati dei file è così possibile vedere la temperatura appena trasformata:

7

STATISTICS_MAXIMUM=39.75

STATISTICS_MEAN=32.327383862266

STATISTICS_MINIMUM=26.309999465942

STATISTICS_STDDEV=2.5128821949559

16

STATISTICS_MAXIMUM=43.549999237061

STATISTICS_MEAN=33.477004151807

STATISTICS_MINIMUM=28.670000076294

STATISTICS_STDDEV=2.4056409841504

18

STATISTICS_MAXIMUM=40.549999237061

STATISTICS_MEAN=30.530590644869

STATISTICS_MINIMUM=24.14999961853

STATISTICS_STDDEV=2.6419429520336

19

STATISTICS_MAXIMUM=38.650001525879

STATISTICS_MEAN=31.037594968257

STATISTICS_MINIMUM=26.430000305176



STATISTICS_STDDEV=2.3063829826709

20

STATISTICS_MAXIMUM=41.709999084473

STATISTICS_MEAN=34.363670944665

STATISTICS_MINIMUM=28.790000915527

STATISTICS_STDDEV=2.3372309846613

21

STATISTICS_MAXIMUM=40.590000152588

STATISTICS_MEAN=33.117004225526

STATISTICS_MINIMUM=27.729999542236

STATISTICS_STDDEV=2.3275057222492

Media delle temperature massime

$(39,75 + 43,549999237061 + 40,549999237061 + 38,650001525879 + 41,709999084473 + 40,590000152588) / 6 = 40,7999998728437 \text{ } ^\circ\text{C}$

Media delle temperature medie

$(32,327383862266 + 33,477004151807 + 30,530590644869 + 31,037594968257 + 34,363670944665 + 33,117004225526) / 6 = 32,4755414662317 \text{ } ^\circ\text{C}$

Il calcolo delle medie sarà utile in seguito per confrontare i mesi e gli anni considerati, per definire le classi di temperatura delle immagini e per normalizzare i valori del 2015 al 2000, in modo che siano confrontabili.

2.2.2.2. Giugno (06) 2015 – Da satellite

Gli stessi passaggi descritti precedentemente sono da ripetere per tutti i mesi. I giorni validi, in questo caso, sono: 28, 26, 7, 6, 5 e 3 e le temperature ricavate dai metadati su Qgis sono costituite da:



3

STATISTICS_MAXIMUM=40.75

STATISTICS_MEAN=33.815654126904

STATISTICS_MINIMUM=27.389999389648

STATISTICS_STDDEV=2.5142993937383

5

STATISTICS_MAXIMUM=43.169998168945

STATISTICS_MEAN=35.920295272698

STATISTICS_MINIMUM=29.809999465942

STATISTICS_STDDEV=2.4757432927889

6

STATISTICS_MAXIMUM=42.150001525879

STATISTICS_MEAN=34.683333392888

STATISTICS_MINIMUM=29.790000915527

STATISTICS_STDDEV=2.346042832008

7

STATISTICS_MAXIMUM=40.849998474121

STATISTICS_MEAN=33.234556986813

STATISTICS_MINIMUM=27.870000839233

STATISTICS_STDDEV=2.3184775264748

26

STATISTICS_MAXIMUM=40.450000762939

STATISTICS_MEAN=32.547974679038



STATISTICS_MINIMUM=26.590000152588

STATISTICS_STDDEV=2.578124741963

28

STATISTICS_MAXIMUM=43.110000610352

STATISTICS_MEAN=34.55126587751

STATISTICS_MINIMUM=28.270000457764

STATISTICS_STDDEV=2.640680125735

Media delle temperature massime

$(40.75 + 43.169998168945 + 42.150001525879 + 40.849998474121 + 40.450000762939 + 43.110000610352) / 6 = 41,7466665903727$

Media delle temperature medie

$(33.815654126904 + 35.920295272698 + 34.683333392888 + 33.234556986813 + 32.547974679038 + 34.55126587751) / 6 = 34,1255133893085$

2.2.2.3. Luglio (07) 2000 – Da satellite

Le immagini ottimali ricavabili dal satellite si riferiscono ai giorni: 31, 30, 29, 28, 18, 16, 13, 9, 8, 6 e 5.

Una volta ritagliati e trasformati in gradi Celsius, le temperature ottenibili dai metadati sono state:

5

STATISTICS_MAXIMUM=40.810001373291

STATISTICS_MEAN=34.290168794399

STATISTICS_MINIMUM=28.889999389648

STATISTICS_STDDEV=2.2996562283075



6

STATISTICS_MAXIMUM=42.75

STATISTICS_MEAN=36.283080153324

STATISTICS_MINIMUM=29.969999313354

STATISTICS_STDDEV=2.3727744502066

8

STATISTICS_MAXIMUM=44.709999084473

STATISTICS_MEAN=37.403839690776

STATISTICS_MINIMUM=31.549999237061

STATISTICS_STDDEV=2.3350741809355

9

STATISTICS_MAXIMUM=42.729999542236

STATISTICS_MEAN=34.228480986905

STATISTICS_MINIMUM=26.790000915527

STATISTICS_STDDEV=2.9629425740612

13

STATISTICS_MAXIMUM=40.169998168945

STATISTICS_MEAN=30.948227854218

STATISTICS_MINIMUM=24.729999542236

STATISTICS_STDDEV=3.0915327321675

16

STATISTICS_MAXIMUM=39.470001220703

STATISTICS_MEAN=30.855822864967



STATISTICS_MINIMUM=23.670000076294

STATISTICS_STDDEV=3.2342579855184

18

STATISTICS_MAXIMUM=39.869998931885

STATISTICS_MEAN=31.71902950303

STATISTICS_MINIMUM=24.14999389648

STATISTICS_STDDEV=20.076668533846

28

STATISTICS_MAXIMUM=37.409999847412

STATISTICS_MEAN=30.361645557709

STATISTICS_MINIMUM=26.510000228882

STATISTICS_STDDEV=1.9844490430081

29

STATISTICS_MAXIMUM=41.889999389648

STATISTICS_MEAN=33.896750969223

STATISTICS_MINIMUM=28.25

STATISTICS_STDDEV=2.6991603282521

30

STATISTICS_MAXIMUM=40.810001373291

STATISTICS_MEAN=32.47691987436

STATISTICS_MINIMUM=26.309999465942

STATISTICS_STDDEV=2.4691746249156



31

STATISTICS_MAXIMUM=40.009998321533

STATISTICS_MEAN=32.490421890709

STATISTICS_MINIMUM=26.75

STATISTICS_STDDEV=2.348898659425

Media delle temperature massime

$(40.810001373291 + 42.75 + 44.709999084473 + 42.729999542236 + 40.169998168945 + 39.470001220703 + 39.869998931885 + 37.409999847412 + 41.889999389648 + 40.810001373291 + 40.009998321533) / 11 = 40,9672719782045$

Media delle temperature medie

$(34.290168794399 + 36.283080153324 + 37.403839690776 + 34.228480986905 + 30.948227854218 + 30.855822864967 + 31.71902950303 + 30.361645557709 + 33.896750969223 + 32.47691987436 + 32.490421890709) / 11 = 33,1776716490564$

2.2.2.4. Luglio (07) 2015 – Da satellite

I dati utilizzabili corrispondono alle giornate: 27, 22, 21, 20, 19, 14, 12, 11, 10, 7 e 2. Le temperature emerse dai metadati sono invece:

2

STATISTICS_MAXIMUM=38.909999847412

STATISTICS_MEAN=33.098860776877

STATISTICS_MINIMUM=27.950000762939

STATISTICS_STDDEV=2.1607220220915

7

STATISTICS_MAXIMUM=42.889999389648

STATISTICS_MEAN=36.109578088366



STATISTICS_MINIMUM=29.170000076294

STATISTICS_STDDEV=2.5559775475481

10

STATISTICS_MAXIMUM=39.849998474121

STATISTICS_MEAN=33.731518918452

STATISTICS_MINIMUM=26.909999847412

STATISTICS_STDDEV=2.5698979695108

11

STATISTICS_MAXIMUM=39.669998168945

STATISTICS_MEAN=34.482405046873

STATISTICS_MINIMUM=29.030000686646

STATISTICS_STDDEV=2.1688651033315

12

STATISTICS_MAXIMUM=43.590000152588

STATISTICS_MEAN=37.01008438561

STATISTICS_MINIMUM=27.209999084473

STATISTICS_STDDEV=3.0348060750296

14

STATISTICS_MAXIMUM=44.330001831055

STATISTICS_MEAN=37.602658171191

STATISTICS_MINIMUM=30.409999847412

STATISTICS_STDDEV=2.7138945899991



19

STATISTICS_MAXIMUM=42.75

STATISTICS_MEAN=37.371181415606

STATISTICS_MINIMUM=30.430000305176

STATISTICS_STDDEV=2.6193518614589

20

STATISTICS_MAXIMUM=39.389999389648

STATISTICS_MEAN=34.718691845986

STATISTICS_MINIMUM=29.969999313354

STATISTICS_STDDEV=1.8719614856937

21

STATISTICS_MAXIMUM=45.810001373291

STATISTICS_MEAN=39.790422013037

STATISTICS_MINIMUM=32.669998168945

STATISTICS_STDDEV=2.6372267182041

22

STATISTICS_MAXIMUM=38.689998626709

STATISTICS_MEAN=32.700886231435

STATISTICS_MINIMUM=-273.14999389648

STATISTICS_STDDEV=28.280963125126

27

STATISTICS_MAXIMUM=41.509998321533

STATISTICS_MEAN=36.238270143919



STATISTICS_MINIMUM=29.85000038147

STATISTICS_STDDEV=2.3910266650184

Media delle temperature massime

(38.909999847412 + 42.889999389648 + 39.849998474121 + 39.669998168945 +
43.590000152588 + 44.330001831055 + 42.75 + 39.389999389648 +
45.810001373291 + 38.689998626709 + 41.509998321533) / 11 =
41,5809086886318

Media delle temperature medie

(33.098860776877 + 36.109578088366 + 33.731518918452 + 34.482405046873 +
37.01008438561 + 37.602658171191 + 37.371181415606 + 34.718691845986 +
39.790422013037 + 32.700886231435 + 36.2382701439199) / 11 =
35,7140506397594

2.2.2.5. Agosto (08) 2000 – Da satellite

In questo caso, considerando che dal 2 agosto al 18 agosto il servizio di registrazione dati, da parte del satellite, è stato interrotto e quindi non sono presenti i dati, le immagini satellitari ottimali risultano nelle date: 28, 26, 25, 23, 22, 20 e 1. Le temperature dei metadati sono pari a:

1

STATISTICS_MAXIMUM=40.509998321533

STATISTICS_MEAN=33.480632926844

STATISTICS_MINIMUM=26.930000305176

STATISTICS_STDDEV=2.4553013281208

20

STATISTICS_MAXIMUM=36.130001068115

STATISTICS_MEAN=30.626624336726

STATISTICS_MINIMUM=27.610000610352



STATISTICS_STDDEV=1.9432615031005

22

STATISTICS_MAXIMUM=38.509998321533

STATISTICS_MEAN=32.703080245714

STATISTICS_MINIMUM=28.729999542236

STATISTICS_STDDEV=1.7412782992266

23

STATISTICS_MAXIMUM=41.310001373291

STATISTICS_MEAN=34.616497691674

STATISTICS_MINIMUM=29.829999923706

STATISTICS_STDDEV=2.1359538789627

25

STATISTICS_MAXIMUM=40.689998626709

STATISTICS_MEAN=35.715991523195

STATISTICS_MINIMUM=31.469999313354

STATISTICS_STDDEV=1.8037447667021

26

STATISTICS_MAXIMUM=38.150001525879

STATISTICS_MEAN=32.598101209488

STATISTICS_MINIMUM=27.64999961853

STATISTICS_STDDEV=1.8881317517986



28

STATISTICS_MAXIMUM=38.61000610352

STATISTICS_MEAN=32.131434613642

STATISTICS_MINIMUM=25.85000038147

STATISTICS_STDDEV=2.4978937645848

Media delle temperature massime

$(40.509998321533 + 36.130001068115 + 38.509998321533 + 41.310001373291 + 40.689998626709 + 38.150001525879 + 38.61000610352) / 7 = 39,1299999782017$

Media delle temperature medie

$(33.480632926844 + 30.626624336726 + 32.703080245714 + 34.616497691674 + 35.715991523195 + 32.598101209488 + 32.131434613642) / 7 = 33,1246232210404$

2.2.2.6. Agosto (08) 2015 – Da satellite

I file ottimali elaborati e inseriti su Qgis sono riferibili ai giorni: 6, 7, 8, 11, 12, 29 e 31.
I metadati mostrano:

6

STATISTICS_MAXIMUM=42.830001831055

STATISTICS_MEAN=38.570421878799

STATISTICS_MINIMUM=31.290000915527

STATISTICS_STDDEV=2.5358310874196

7

STATISTICS_MAXIMUM=42.909999847412

STATISTICS_MEAN=37.259282703641

STATISTICS_MINIMUM=32.729999542236

STATISTICS_STDDEV=1.996189131858



8

STATISTICS_MAXIMUM=44.029998779297

STATISTICS_MEAN=39.931434502582

STATISTICS_MINIMUM=33.529998779297

STATISTICS_STDDEV=2.3391982262107

11

STATISTICS_MAXIMUM=40.310001373291

STATISTICS_MEAN=34.341645647202

STATISTICS_MINIMUM=29.530000686646

STATISTICS_STDDEV=2.5521001028423

12

STATISTICS_MAXIMUM=39.909999847412

STATISTICS_MEAN=34.376666620311

STATISTICS_MINIMUM=30.010000228882

STATISTICS_STDDEV=2.1085747407392

29

STATISTICS_MAXIMUM=39.130001068115

STATISTICS_MEAN=32.764599039585

STATISTICS_MINIMUM=28.329999923706

STATISTICS_STDDEV=2.0761880473066



31

STATISTICS_MAXIMUM=40.470001220703

STATISTICS_MEAN=33.370928253303

STATISTICS_MINIMUM=28.389999389648

STATISTICS_STDDEV=2.1343193634312

Media delle temperature massime

$(42.830001831055 + 42.909999847412 + 44.029998779297 + 40.310001373291 + 39.909999847412 + 39.130001068115 + 40.470001220703) / 7 = 41,370000566755$

Media delle temperature medie

$(38.570421878799 + 37.259282703641 + 39.931434502582 + 34.341645647202 + 34.376666620311 + 32.764599039585 + 33.370928253303) / 7 = 35,802139806489$

2.2.2.7. Tabella di confronto tra tutti i mesi analizzati (06, 07 e 08) del 2000 e del 2015

M	06		07		08	
	2000	2015	2000	2015	2000	2015
Media temp. max. satellite	40,7999998728437	41,7466665903727	40,9672719782045	41,5809086886318	39,1299999782017	41,370000566755
Media temp. medie satellite	32,4755414662317	34,1255133893085	33,1776716490564	35,7140506397594	33,1246232210404	35,802139806489
Media totale	36,63777067	37,93608999	37,07247181	38,64747966	36,1273116	38,58607019

Tabella 2-1: Dimostrazione del confronto tra i mesi (06, 07 e 08) del 2000 e del 2015 raffrontando i valori del satellite [produzione propria].

Dalla tabella emerge chiaramente come le temperature in generale sono cresciute dal 2000 al 2015 sia per il mese di giugno, che per luglio e agosto. Il risultato è, quindi, discreto. Non bisogna, infatti tralasciare le molteplici problematiche che si sono palesate durante l'elaborazione, il primo fra tutti l'impossibilità di avere un riscontro di ogni giorno del mese a causa dei dati satellitari molte volte corrotti dalla nuvolosità. Inoltre, non è possibile raffrontare il dato satellitare con quello ad esempio delle stazioni meteorologiche posizionate sul suolo, per comprendere se effettivamente la



temperatura del satellite è valida. Il paragone sarebbe, infatti, inconsistente poiché le registrazioni effettuate dai due strumenti risultano differenti sia per la composizione dei valori che per la metodologia. Se, infatti, il satellite capta le onde elettromagnetiche emesse dal suolo nel momento in cui passa e le trasforma in temperature istantanee, le stazioni meteorologiche registrano per ogni giornata un tot numero di valori da cui ricavano la media, il massimo e il minimo. Oltre a ciò il satellite coglie la temperatura del suolo, mentre le stazioni quella dell'aria. Per effettuare, quindi, un lavoro a prova di errori si sarebbero dovuti analizzare, solamente dal satellite, tutti i novantadue giorni che compongono i mesi estivi (giugno, luglio e agosto) e considerare tutti gli anni tra il 2000 e il 2015. Posta l'impossibilità di tale elaborazione e considerate le questioni appena esposte il risultato è, comunque, in grado di dimostrare una crescita generale delle temperature dal 2000 al 2015. L'aumento si può notare, infatti, per tutti e tre e i mesi e non può essere considerato un caso isolato.



2.3. NORMALIZZAZIONE DEI DATI PER CONFRONTO GRAFICO

Un'ottima soluzione per dimostrare la crescita delle temperature, affermata nel capitolo precedente è materializzare i risultati attraverso una rappresentazione grafica. Per poter, però, raffigurare su mappa i dati registrati dal satellite e confrontarli per mese e anno graficamente, è necessario normalizzare i dati del 2000 e del 2015. La normalizzazione in questo caso consiste nel riportare il dato del 2015 alla condizione di temperatura del 2000, per capire come le zone effettivamente più calde si sono espanse, si sono sviluppate e che morfologie presentano.

2.3.1. NORMALIZZAZIONE DEI DATI DI GIUGNO (06) DEL 2000 E DEL 2015

2.3.1.1. Giugno (06) 2000

Il primo passaggio sarà effettuare per ogni immagine satellitare del 2000 la sottrazione della media della temperatura dell'immagine rispetto alla media delle temperature medie del giugno 2000 calcolata precedentemente tra tutte le immagini scelte.

Risultante x = Media delle temperature medie 2000- Temperatura media dell'immagine x 2000

Risultante **7** = $32,4755414662317 - 32,327383862266 = 0,148157604$

Risultante **16** = $32,4755414662317 - 33,477004151807 = -1,001462686$

Risultante **18** = $32,4755414662317 - 30,530590644869 = 1,944950821$

Risultante **19** = $32,4755414662317 - 31,037594968257 = 1,437946498$

Risultante **20** = $32,4755414662317 - 34,363670944665 = -1,888129478$

Risultante **21** = $32,4755414662317 - 33,117004225526 = -0,641462759$

La risultante sarà da applicare attraverso il raster calculator su Qgis per ogni immagine (ovviamente già trasformata in temperatura), facendo attenzione se sia somma o sottrazione, in modo che ognuna sia riportata alla media per una raffigurazione alle stesse condizioni. Questo dovrebbe permettere un maggiore confronto poi con il 2015.



Figura 2-7: Esempio della normalizzazione effettuata sul raster calcolatore di Qgis, attuato sul giorno 07/06/2000 [screenshot del programma].

Guardando ora i metadati delle immagini satellitari si vede che la temperatura media corrisponde a quella desiderata, ovvero la media delle temperature medie.

Si può, quindi, trasformare lo stile grafico delle immagini satellitari normalizzate facendo attenzione ad inserire il massimo e il minimo come calcolato rispettivamente per la media delle temperature massime e per la media delle temperature minime del 2000, scegliendo 20 classi. Una volta effettuata questa operazione per un'immagine (la prima data è il 7 in questo caso) basterà ricopiare lo stile per le altre, in modo che siano conformate. Nell'“*Allegato A – Valori termici di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015*” è possibile vedere le immagini risultanti dall'elaborazione.

Media delle temperature massime 2000

$$(39,75 + 43,549999237061 + 40,549999237061 + 38,650001525879 + 41,709999084473 + 40,590000152588) / 6 = 40,7999998728437$$

Media delle temperature minime 2000

$$(26.309999465942 + 28.670000076294 + 24.14999961853 + 26.430000305176 + 28.790000915527 + 27.729999542236) / 6 = 27,0133333206175$$

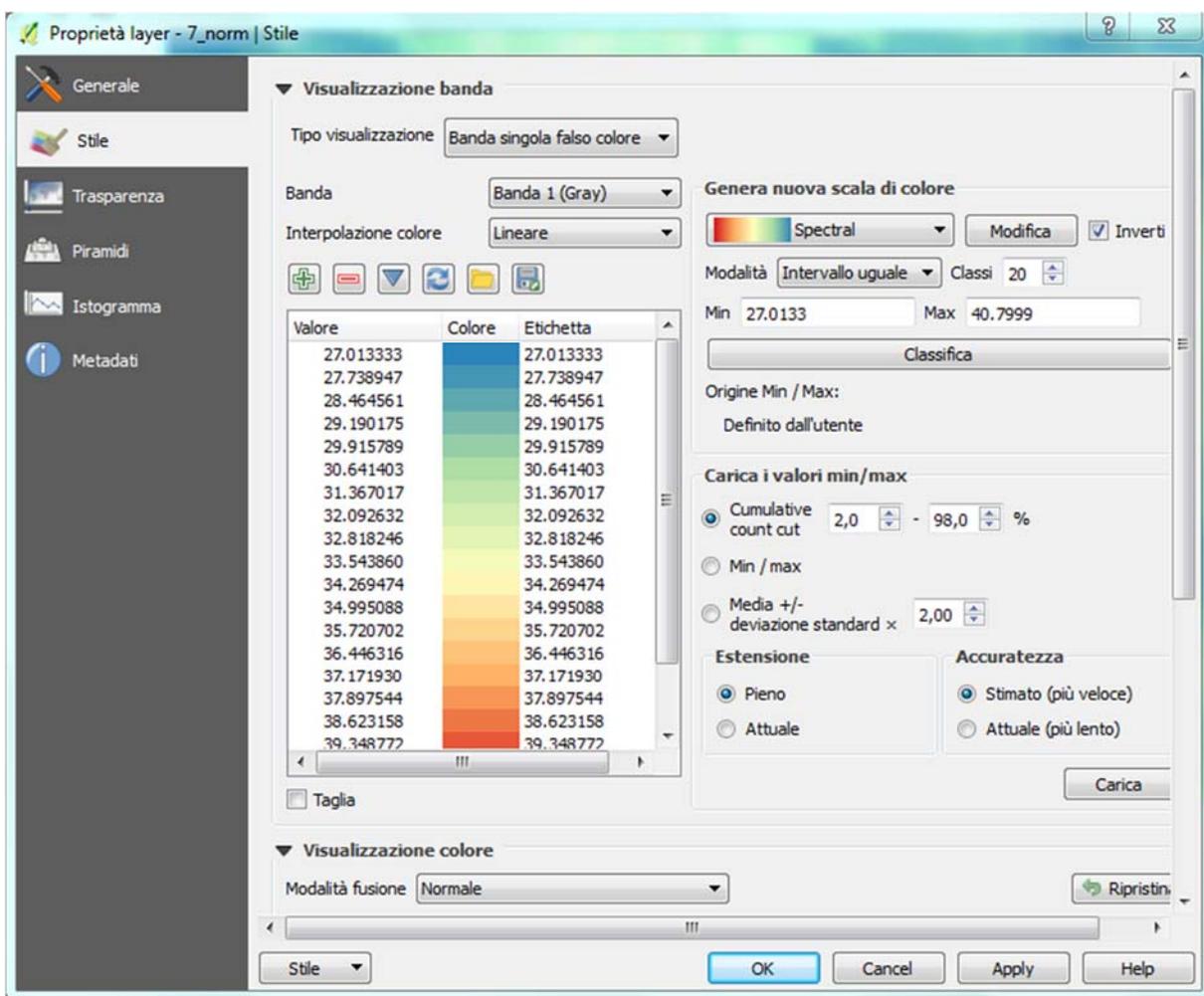


Figura 2-8: Esempio dello stile scelto per l'immagine satellitare normalizzata, realizzato su Qgis [screenshot del programma].

L'ultimo passaggio per l'elaborazione delle immagini è quello di estrarre le isoterme da ogni raster, rappresentando così le curve per le quali è calcolata la medesima temperatura. Queste dovrebbero dare una chiara raffigurazione delle modifiche e dell'espansione delle isole di calore, denominate isole proprio per la loro particolare configurazione data dalle curve termiche. Nell' "Allegato B – Isoterme di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015" sono contenute le immagini riportanti le isoterme.

2.3.1.2. Giugno (06) 2015

Per il 2015 sarà necessario effettuare lo stesso processo di elaborazione svolto per le immagini satellitari del 2000, puntualizzando che anche in questo caso le temperature



medie di ogni immagine saranno sottratte alla media delle temperature medie del 2000, per normalizzare il 2015 al 2000.

Risultante x = Media delle temperature medie 2000 - Temperatura media dell'immagine x 2015

Risultante **3** = 32,4755414662317 – 33,815654126904 = -1,3401126606723

Risultante **5** = 32,4755414662317 – 35,920295272698 = -3,4447538064663

Risultante **6** = 32,4755414662317 – 34,683333392888 = -2,2077919266563

Risultante **7** = 32,4755414662317 – 33,234556986813 = -0,7590155205813

Risultante **26** = 32,4755414662317 – 32,547974679038 = -0,0724332128063

Risultante **28** = 32,4755414662317 – 34,55126587751 = -2,0757244112783

Si può ora svolgere il passaggio sul raster calculator dove si andrà a sommare o sottrarre ogni risultante ad ogni raster della temperatura corrispondente, come effettuato per il 2000. Le temperature dei metadati di ogni immagine saranno, quindi, ora conformate al 2000.

Il passaggio successivo è quello di trasformare lo stile grafico prendendo il massimo come la media della temperatura massima del 2000 e il minimo come la media della temperatura minima del 2000 e applicandolo a tutti i raster normalizzati, con 20 classi (*“Allegato A – Valori termici di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”*).

Media delle temperature massime 2000

(39,75 + 43,549999237061 + 40,549999237061 + 38,650001525879 + 41,709999084473 + 40,590000152588) / 6 = 40,7999998728437

Media delle temperature minime 2000

(26.309999465942 + 28.670000076294 + 24.14999961853 + 26.430000305176 + 28.790000915527 + 27.729999542236) / 6 = 27,0133333206175

È necessario poi estrarre le isoterme dalle immagini, come svolto per giugno del 2000 (*“Allegato B – Isoterme di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”*).



2.3.1.3. Confronto grafico delle immagini di giugno (06) del 2000 e del 2015

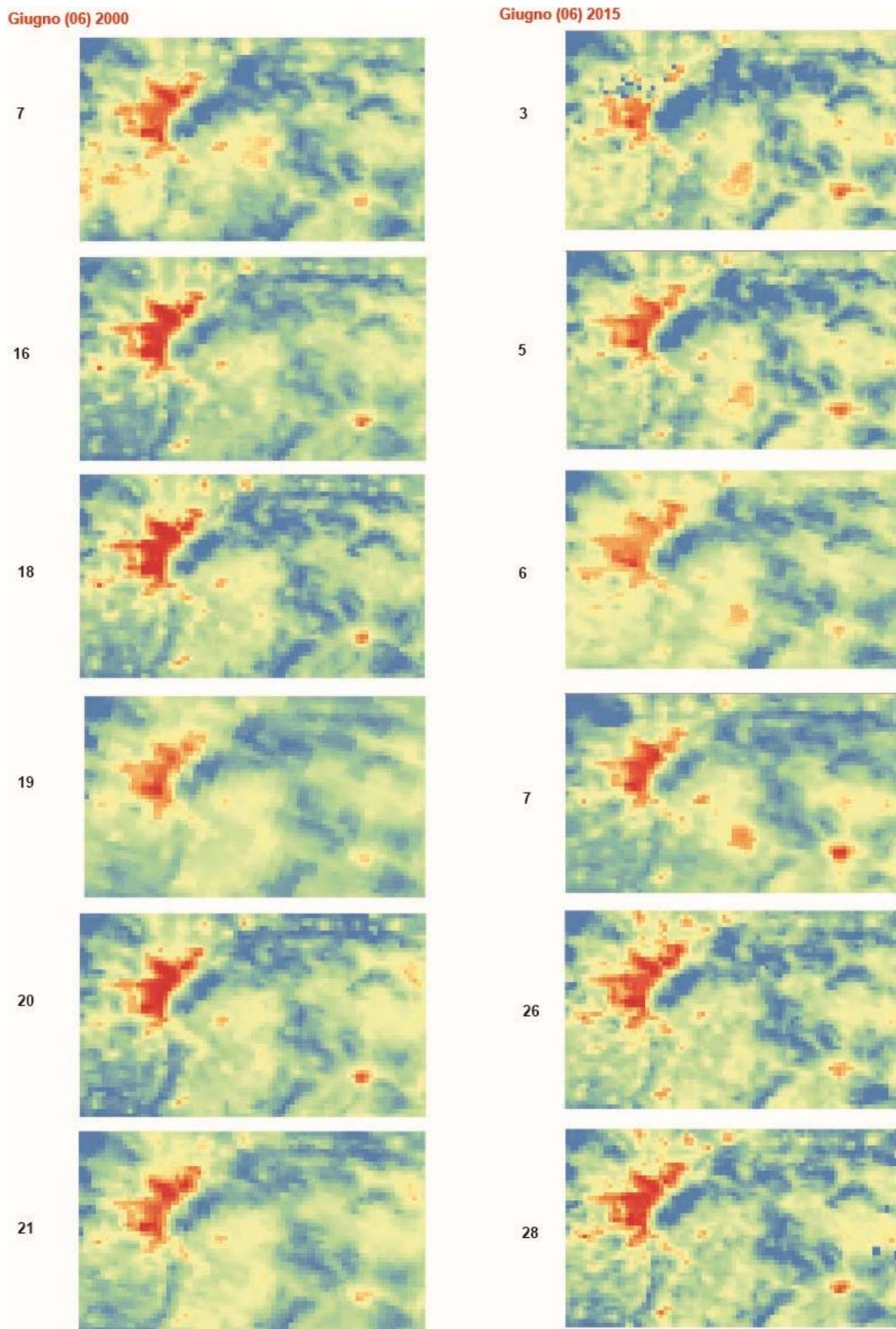


Figura 2-9: Confronto grafico dei valori termici delle immagini satellitari normalizzate realizzate su Qgis [produzione propria].

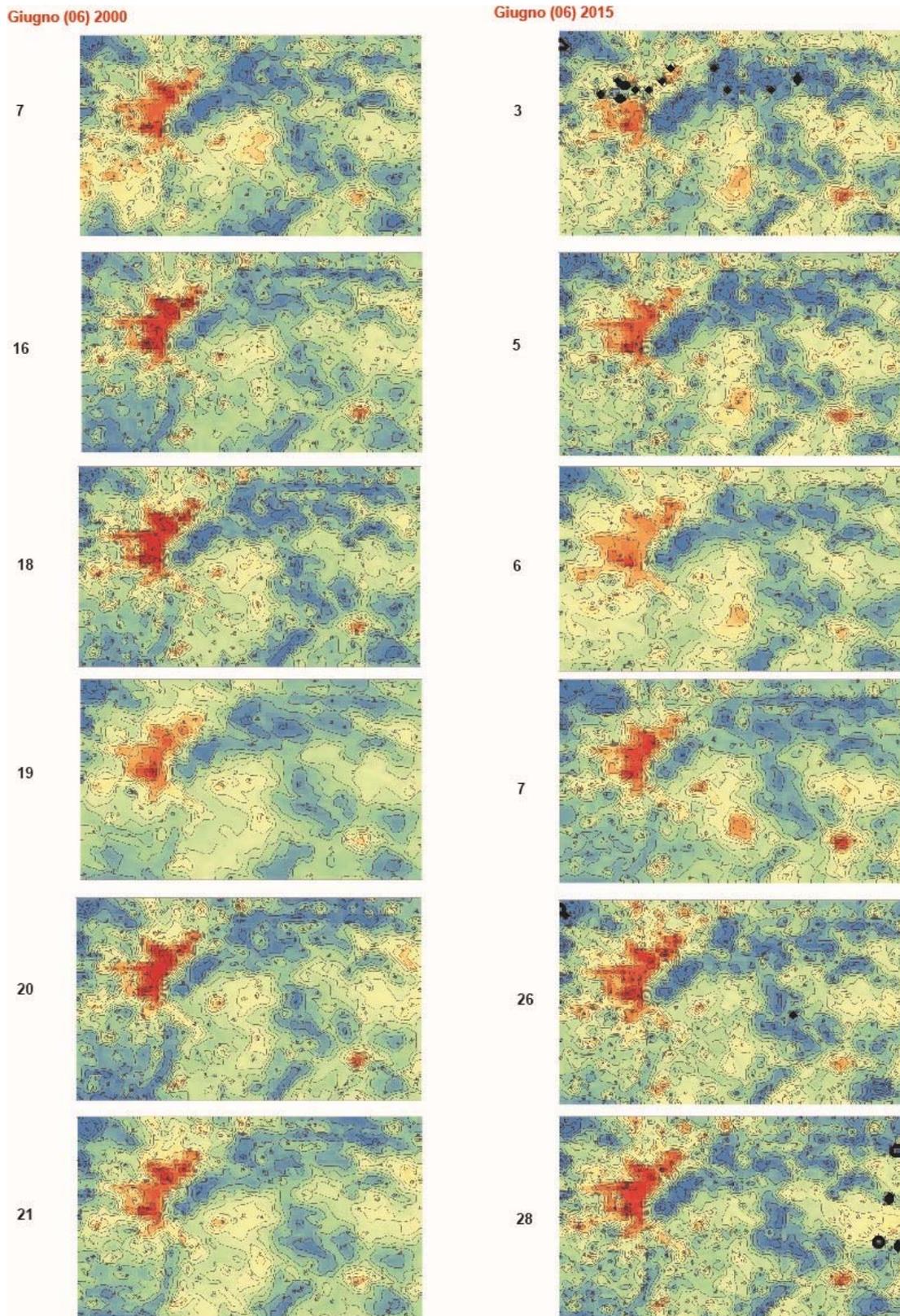


Figura 2-10: Confronto grafico delle isoterme estratte su Qgis per i valori termici delle immagini normalizzate [produzione propria].



Innanzitutto dal confronto si nota come il calore formi una vera e propria isola su Torino, con bordi abbastanza netti rispetto alle aree rurali che circondano la città. Bisogna sottolineare, tuttavia che la comparazione dei dati deve essere basata sulla dimensione e non tanto sul colore. Il 2015 presenta, infatti, un rosso meno deciso, ma questo è dovuto al fatto che si è riportato il dato al 2000. In questo caso il fattore che bisogna osservare è l'espansione. In generale, quindi, nel 2015 l'isola di calore si è espansa a sud e ovest all'interno e al di fuori di Torino e nella parte ad est verso Asti.

Dalle isoterme si nota lo stesso fenomeno, accentuato dalla continuità tra le curve termiche, nelle aree dove a prima vista dalle immagini normalizzate sembrava già esserci un'espansione del calore.**

2.3.1.4. Differenza tra le immagini di giugno (06) del 2000 e del 2015

Un'ulteriore elaborazione si individua nella differenza tra i raster 2000 e 2015, per poter visualizzare in modo diretto e più comprensibile sull'immagine dove la temperatura è cresciuta e dove è diminuita.

Le operazioni da svolgere comprendono la differenza tra le immagini della temperatura normalizzata, del 2000 meno quelle del 2015, attraverso il raster calculator. La corrispondenza sarà effettuata tra la prima immagine del 2000 e la prima del 2015, la seconda del 2000 e la seconda del 2015 e così via, senza badare all'effettiva corrispondenza tra le date che sarebbe impossibile, siccome esse sono tutte diverse.

** Alcune immagini delle isoterme mostrano dei segni neri molto evidenti che rappresentano i dati non disponibili già nei file originali. Ciò dimostra la difficoltà e la complicità nell'applicare questa analisi alle immagini satellitari. I dati sono spesso invalidanti o nulli senza possibilità di utilizzarli per svolgere alcuna elaborazione. Questo avviene non solo per giugno ma anche per gli altri due mesi studiati.

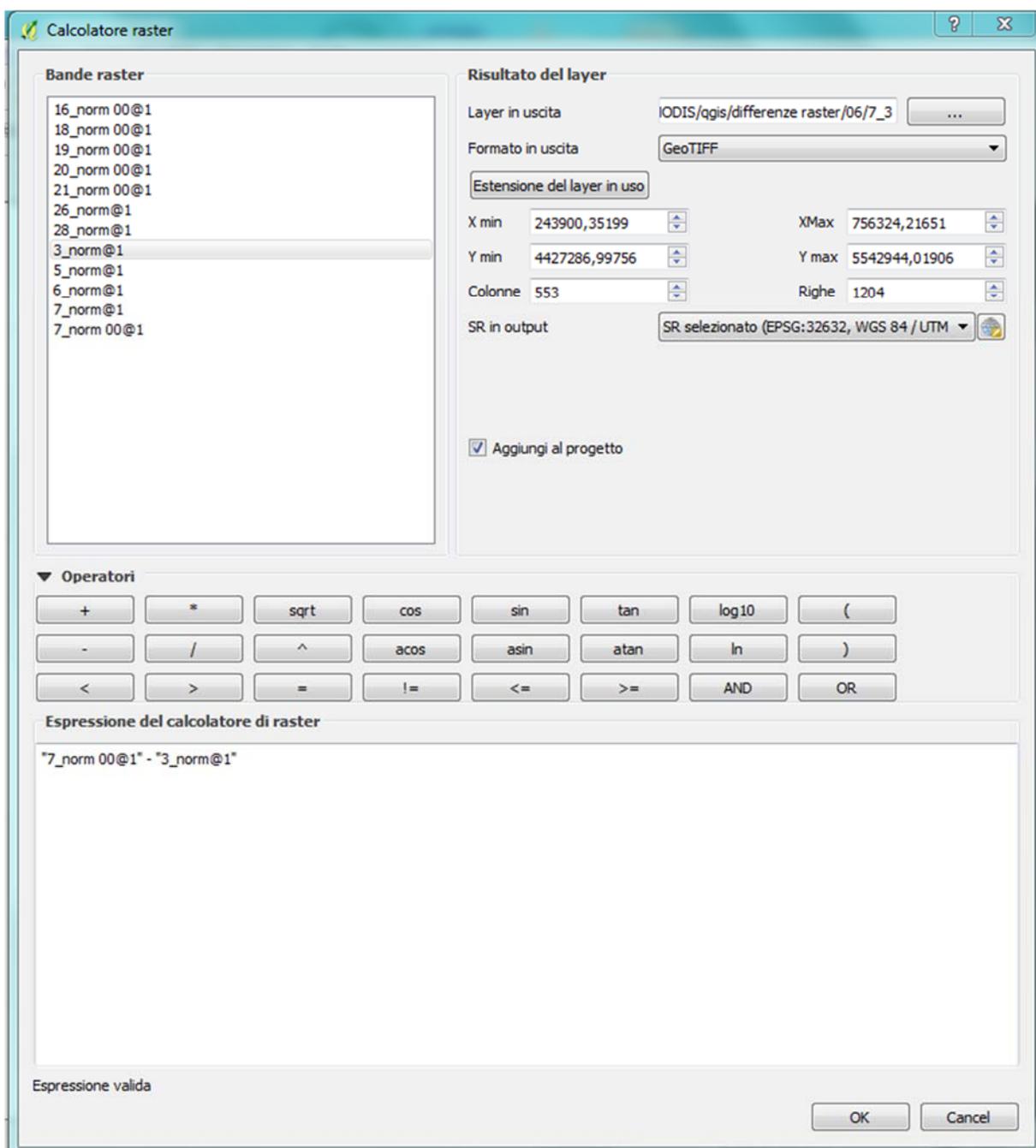


Figura 2-11: Esempio della differenza tra le immagini satellitari effettuata sul raster calculator, attraverso Qgis [screenshot del programma].

Una volta ottenuto il raster, si applicheranno attraverso lo stile grafico dell'immagine 20 classi, settando una visualizzazione a banda singola falso colore e scala spettrale dal blu, per valori negativi, al rosso, per valori positivi, lasciando il massimo e il minimo



come da metadati. Per capire più facilmente dove le temperature sono diminuite e dove aumentate tra il 2000 e il 2015, si sono posizionati al di sotto dei raster le forme degli edifici. Le immagini risultanti sono:

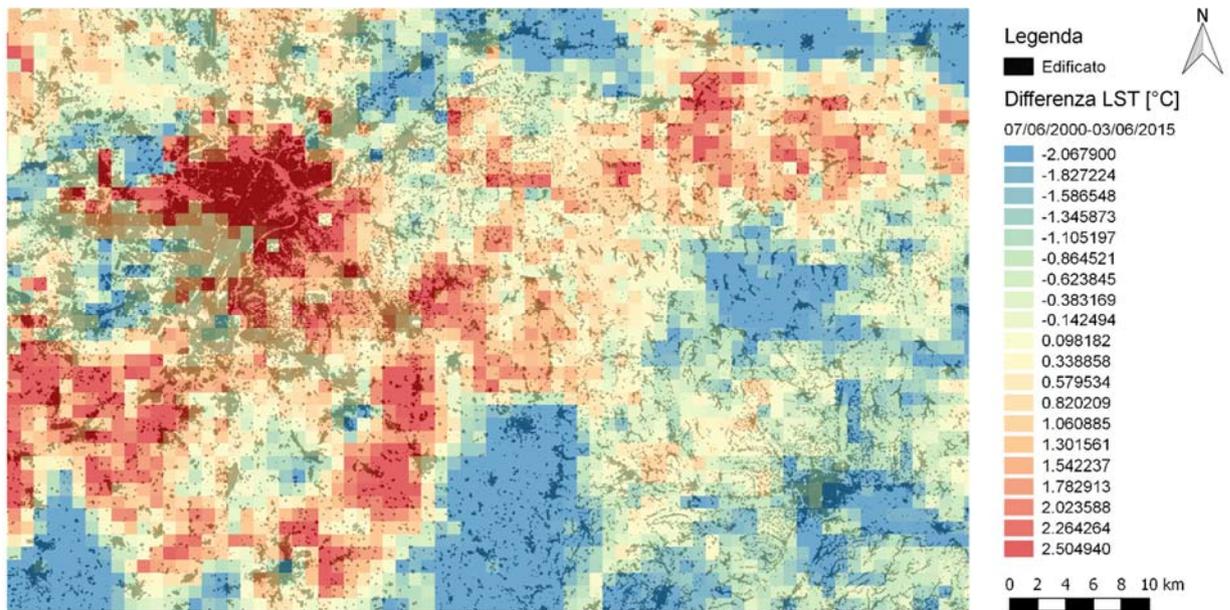


Figura 2-12: Immagine rappresentante la differenza tra il 07/06/2000 e il 03/06/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

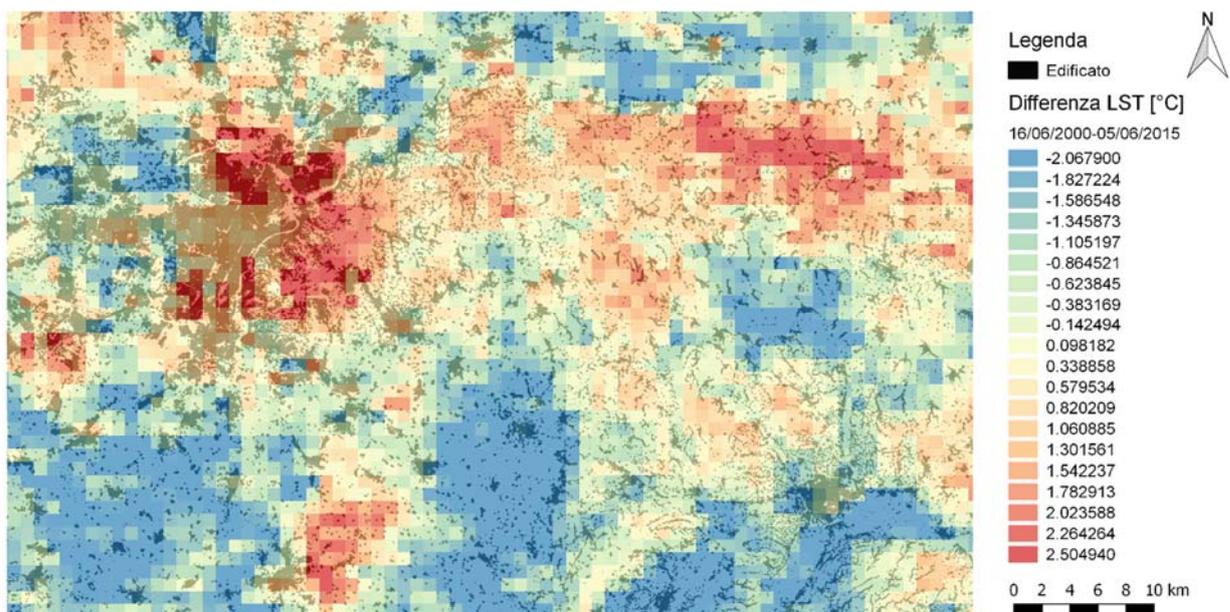


Figura 2-13: Immagine rappresentante la differenza tra il 16/06/2000 e il 05/06/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

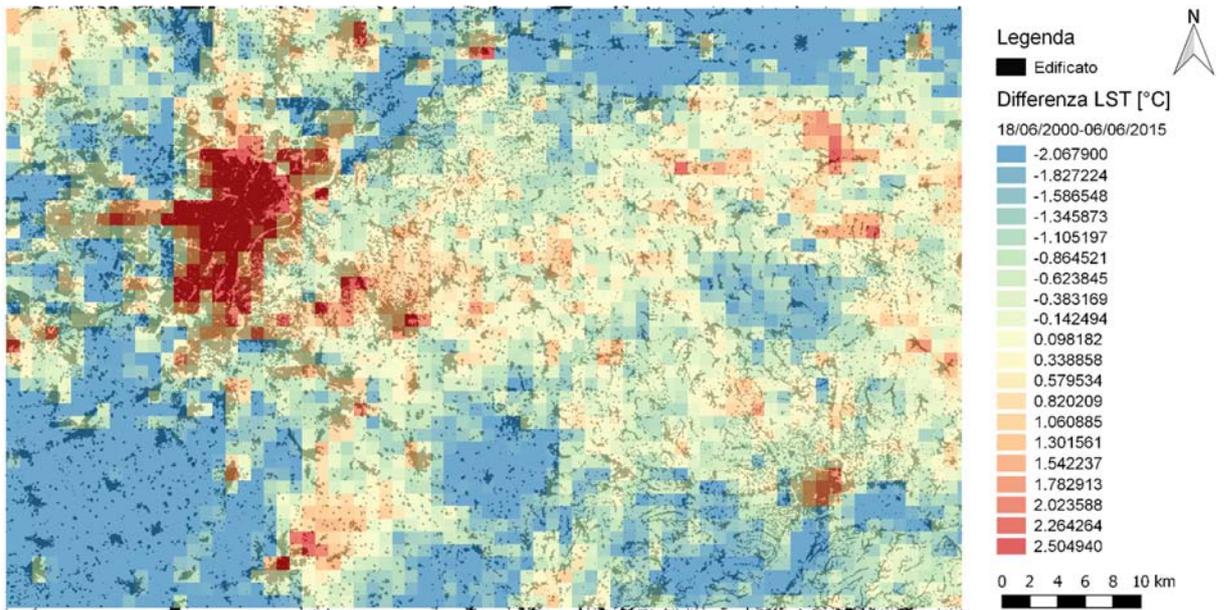


Figura 2-14: Immagine rappresentante la differenza tra il 18/06/2000 e il 06/06/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

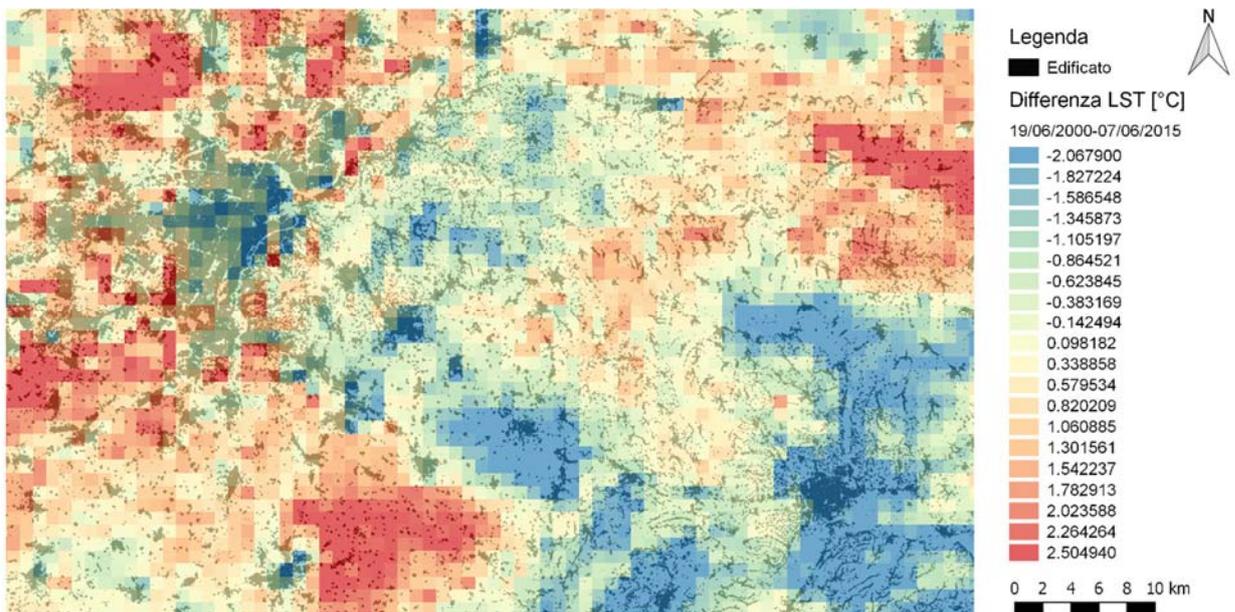


Figura 2-15: Immagine rappresentante la differenza tra il 19/06/2000 e il 07/06/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

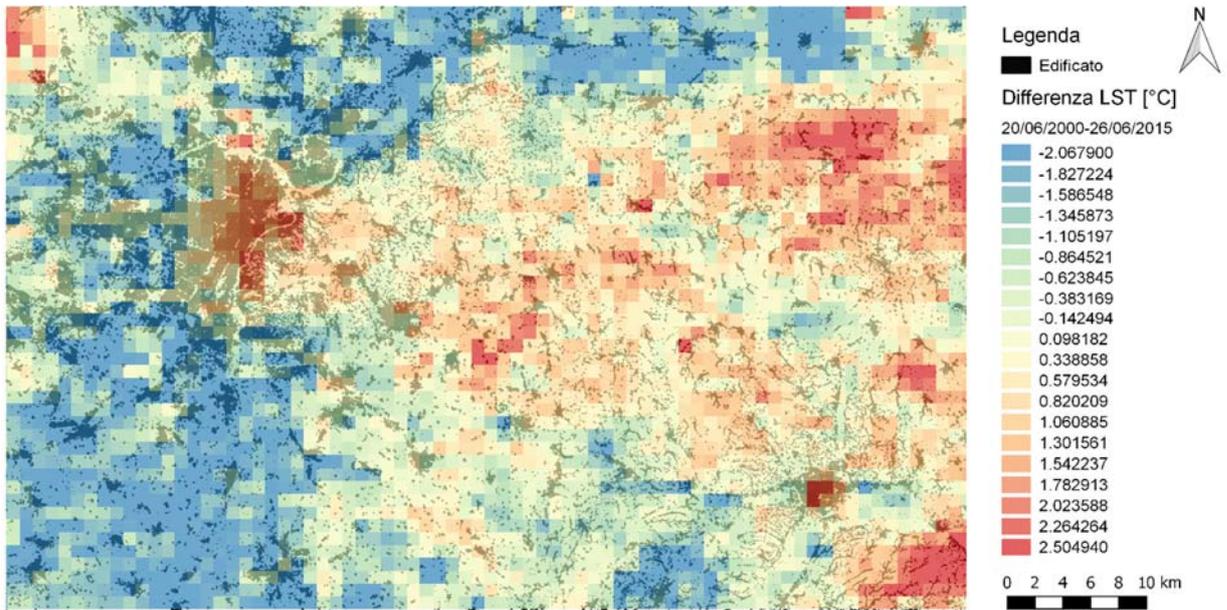


Figura 2-16: Immagine rappresentante la differenza tra il 20/06/2000 e il 26/06/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

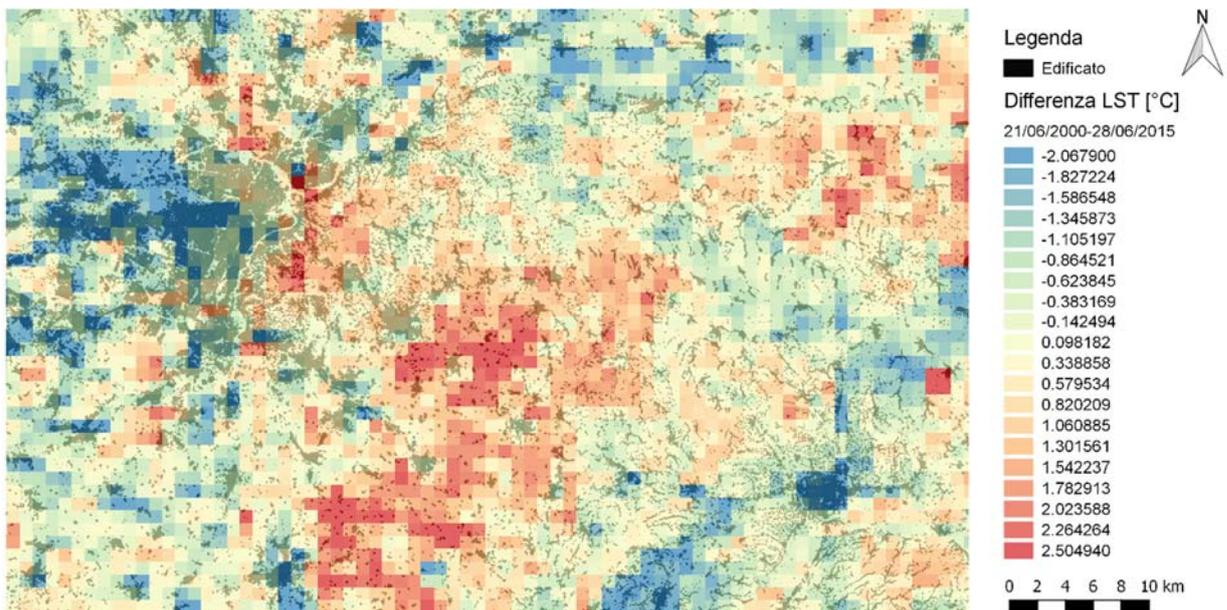


Figura 2-17: Immagine rappresentante la differenza tra il 21/06/2000 e il 28/06/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].



Su sei immagini, quattro confermano l'ipotesi che le temperature in quei giorni siano aumentate. Si notano anche chiaramente i confini di Torino dove le temperature variano notevolmente.***

2.3.2. NORMALIZZAZIONE DEI DATI DI LUGLIO (07) DEL 2000 E DEL 2015

2.3.2.1. Luglio (07) 2000

I passaggi sono uguali a quelli svolti per il mese di giugno.

Risultante x= Media delle temperature medie 2000- Temperatura media dell'immagine x 2000

Risultante **5** = 33,1776716490564 – 34,290168794399 = -1,1124971453426

Risultante **6** = 33,1776716490564 – 36,283080153324 = -3,1054085042676

Risultante **8** = 33,1776716490564 – 37,403839690776 = -4,2261680417196

Risultante **9** = 33,1776716490564 – 34,228480986905 = -1,0508093378486

Risultante **13** = 33,1776716490564 – 30,948227854218 = 2,2294437948384

Risultante **16** = 33,1776716490564 – 30,855822864967 = 2,3218487840894

Risultante **18** = 33,1776716490564 – 31,71902950303 = 1,4586421460264

Risultante **28** = 33,1776716490564 – 30,361645557709 = 2,8160260913474

Risultante **29** = 33,1776716490564 – 33,896750969223 = -0,7190793201666

Risultante **30** = 33,1776716490564 – 32,47691987436 = 0,7007517746964

Risultante **31** = 33,1776716490564 – 32,490421890709 = 0,6872497583474

Si svolgerà poi la sottrazione o la somma sul raster calculator per ottenere le stesse condizioni di temperatura. Si può modificare lo stile grafico tenendo conto delle medie (*“Allegato A – Valori termici di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”*).

*** Le immagini che non rappresentano ciò che ci si aspetta, ovvero le temperature crescenti, dimostrano che i valori sono molto variabili. L'ipotesi è quella che in quei determinati giorni la temperatura del 2000 era più alta rispetto a quella del 2015. Un'anomalia della media insomma.



Media delle temperature massime 2000

$(40.810001373291 + 42.75 + 44.709999084473 + 42.729999542236 + 40.169998168945 + 39.470001220703 + 39.869998931885 + 37.409999847412 + 41.889999389648 + 40.810001373291 + 40.009998321533) / 11 = 40,9672719782045$

Media delle temperature minime 2000

$(28.889999389648 + 29.969999313354 + 31.549999237061 + 26.790000915527 + 24.729999542236 + 23.670000076294 + 24.14999389648 + 26.510000228882 + 28.25 + 26.309999465942 + 26.75) / 11 = 27,0518174604931$

In seguito alla classificazione grafica è possibile estrarre le isoterme attraverso Qgis, come svolto per il mese di giugno (*“Allegato B – Isoterme di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”*).

2.3.2.2. Luglio (07) 2015

Attraverso la formula già applicata per giugno del 2015 si normalizzano i dati di luglio 2015 al 2000, per renderli confrontabili.

Risultante x = Media delle temperature medie 2000- Temperatura media dell'immagine x 2015

Risultante **2** = $33,1776716490564 - 33,098860776877 = 0,0788108721794$

Risultante **7** = $33,1776716490564 - 36,109578088366 = -2,9319064393096$

Risultante **10** = $33,1776716490564 - 33,731518918452 = -0,5538472693956$

Risultante **11** = $33,1776716490564 - 34,482405046873 = -1,3047333978166$

Risultante **12** = $33,1776716490564 - 37,01008438561 = -3,8324127365536$

Risultante **14** = $33,1776716490564 - 37,602658171191 = -4,4249865221346$

Risultante **19** = $33,1776716490564 - 37,371181415606 = -4,1935097665496$

Risultante **20** = $33,1776716490564 - 34,718691845986 = -1,5410201969296$

Risultante **21** = $33,1776716490564 - 39,790422013037 = -6,6127503639806$



Risultante **22** = $33,1776716490564 - 32,700886231435 = 0,4767854176214$

Risultante **27** = $33,1776716490564 - 36,238270143919 = -3,0605984948626$

Una volta effettuato il calcolo sul raster calculator e aver applicato lo stile grafico si possono realizzare le isoterme (*“Allegato A – Valori termici di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”* e *“Allegato B – Isoterme di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”*). Per lo stile è bene tenere a mente sempre le medie da applicare i valori massimi e minimi richiesti dal software.

Media delle temperature massime 2000

$(40.810001373291 + 42.75 + 44.709999084473 + 42.729999542236 + 40.169998168945 + 39.470001220703 + 39.869998931885 + 37.409999847412 + 41.889999389648 + 40.810001373291 + 40.009998321533) / 11 = 40,9672719782045$

Media delle temperature minime 2000

$(28.889999389648 + 29.969999313354 + 31.549999237061 + 26.790000915527 + 24.729999542236 + 23.670000076294 + 24.14999389648 + 26.510000228882 + 28.25 + 26.309999465942 + 26.75) / 11 = 27,0518174604931$



2.3.2.3. Confronto grafico delle immagini di luglio (07) del 2000 e del 2015

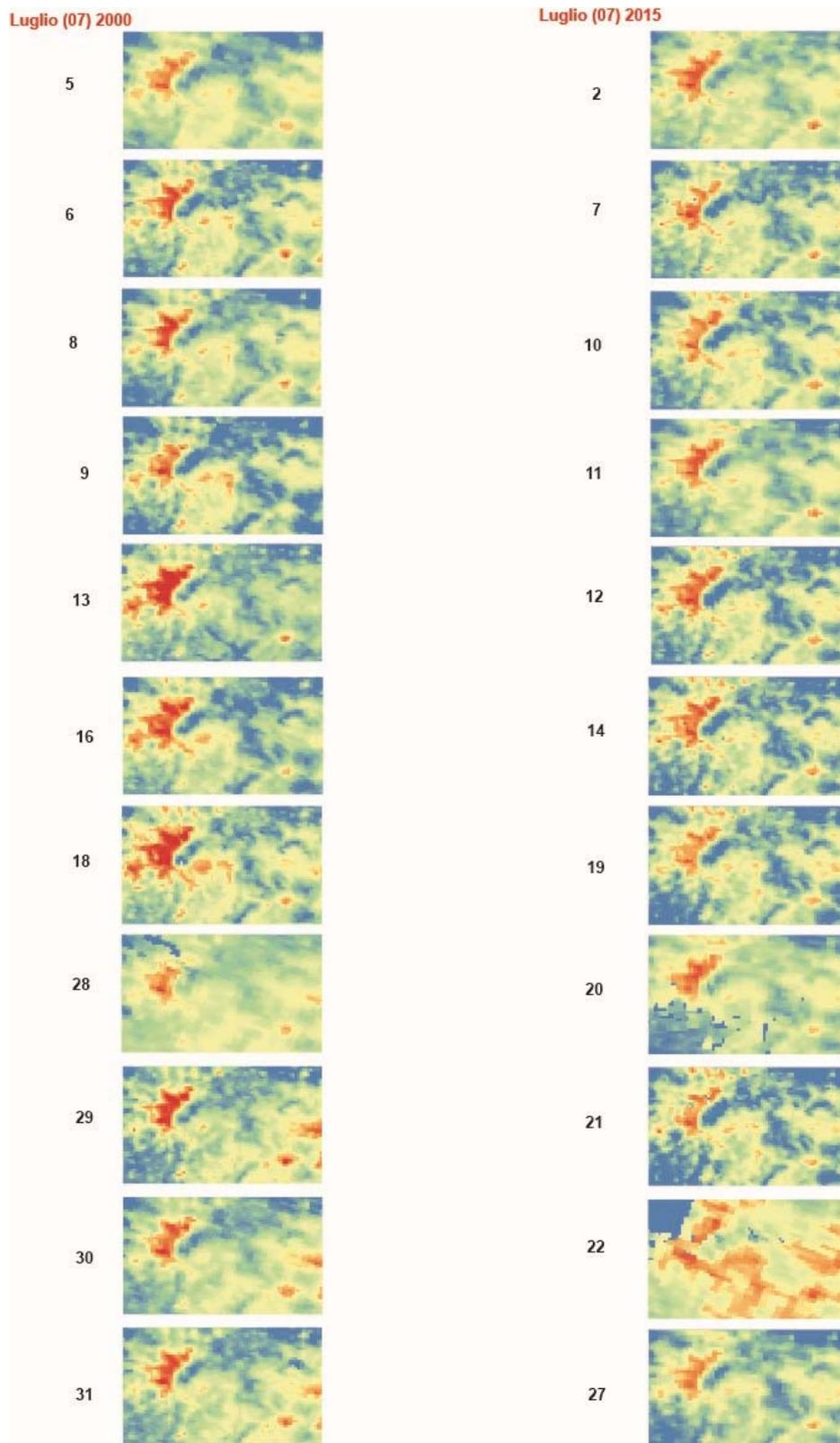


Figura 2-18: Confronto grafico dei valori termici delle immagini satellitari normalizzate [produzione propria].

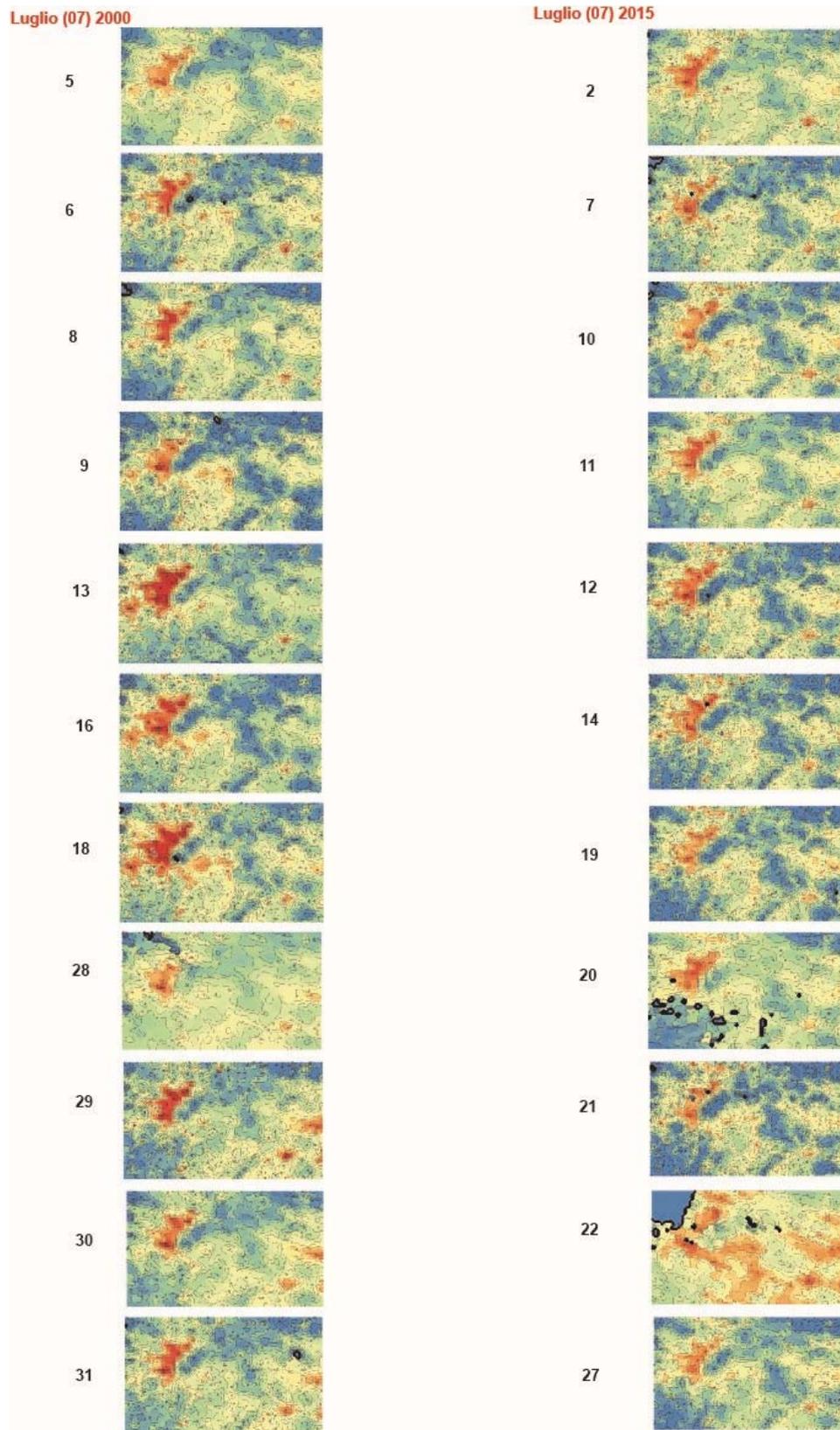


Figura 2-19: Confronto grafico delle isoterme sulle immagini satellitari normalizzate [produzione propria].



Il confronto tra i due anni nel mese di luglio dimostra quello che già succedeva per giugno, con un'espansione dell'isola di calore a sud-ovest, ovest e verso Caselle e Settimo. Inoltre si può vedere come notevolmente il calore si espande verso Asti.

Dalle isoterme si nota lo stesso fenomeno, accentuando l'espansione dell'isola di calore mediante le curve termiche.

2.3.2.4. Differenza tra le immagini di luglio (07) del 2000 e del 2015

Lo svolgimento del processo per il calcolo grafico della differenza tra le immagini raster, è uguale a quello effettuato per i mesi di giugno nel capitolo 3.3.1.4. I risultati che si presentano nel caso di luglio sono:

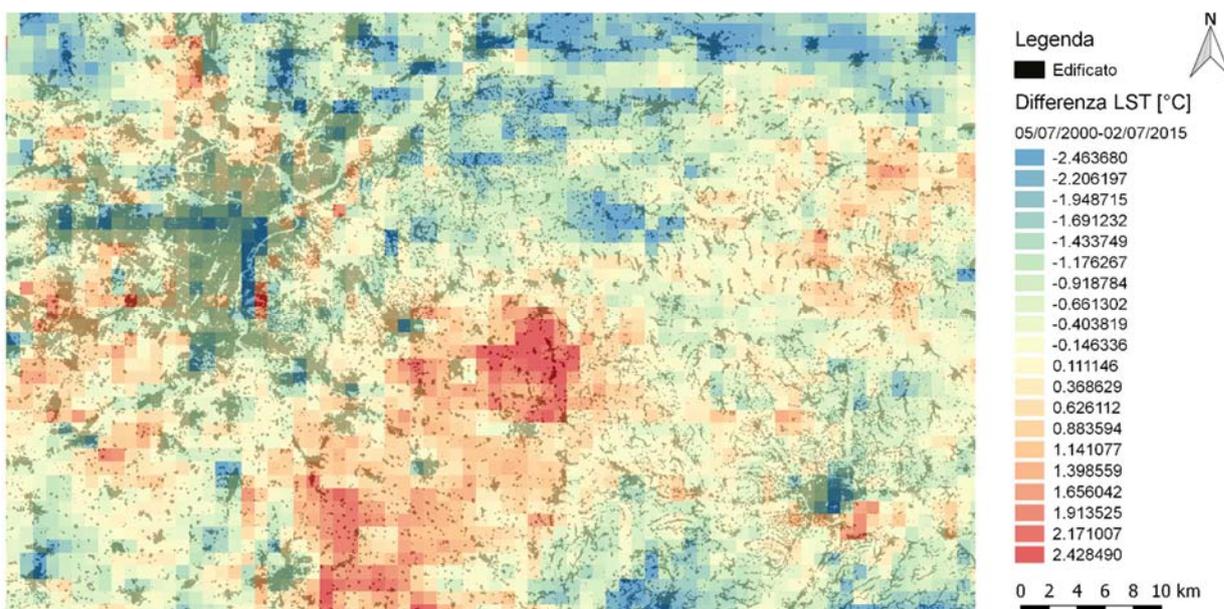


Figura 2-20: Immagine rappresentante la differenza tra il 05/07/2000 e il 02/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

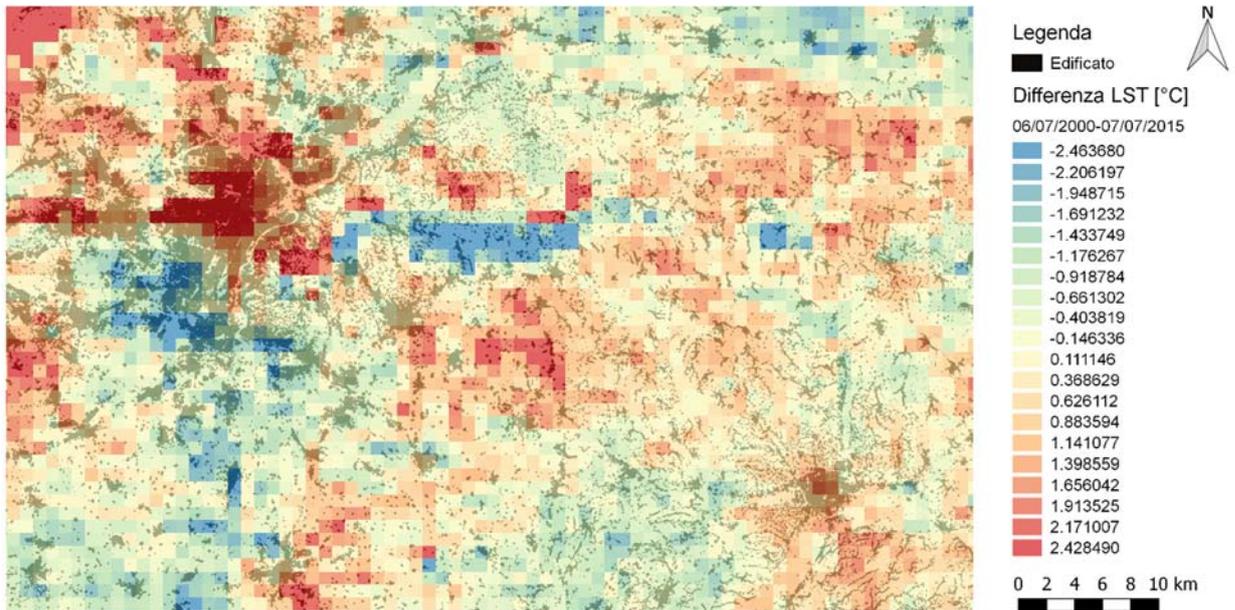


Figura 2-21: Immagine rappresentante la differenza tra il 06/07/2000 e il 07/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

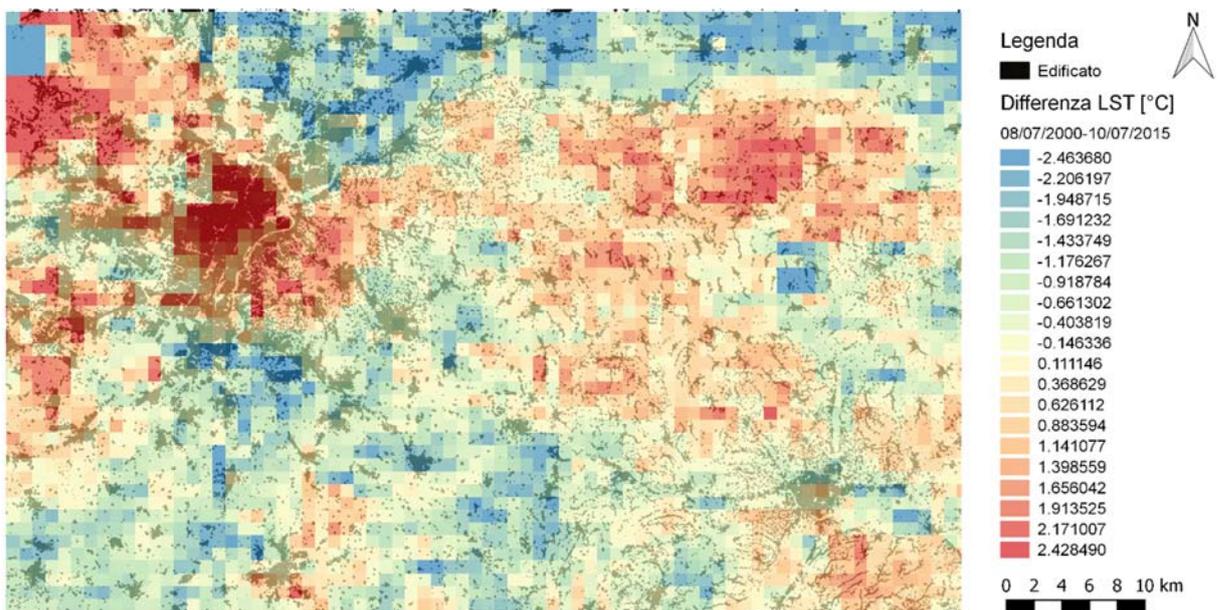


Figura 2-22: Immagine rappresentante la differenza tra il 08/07/2000 e il 10/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

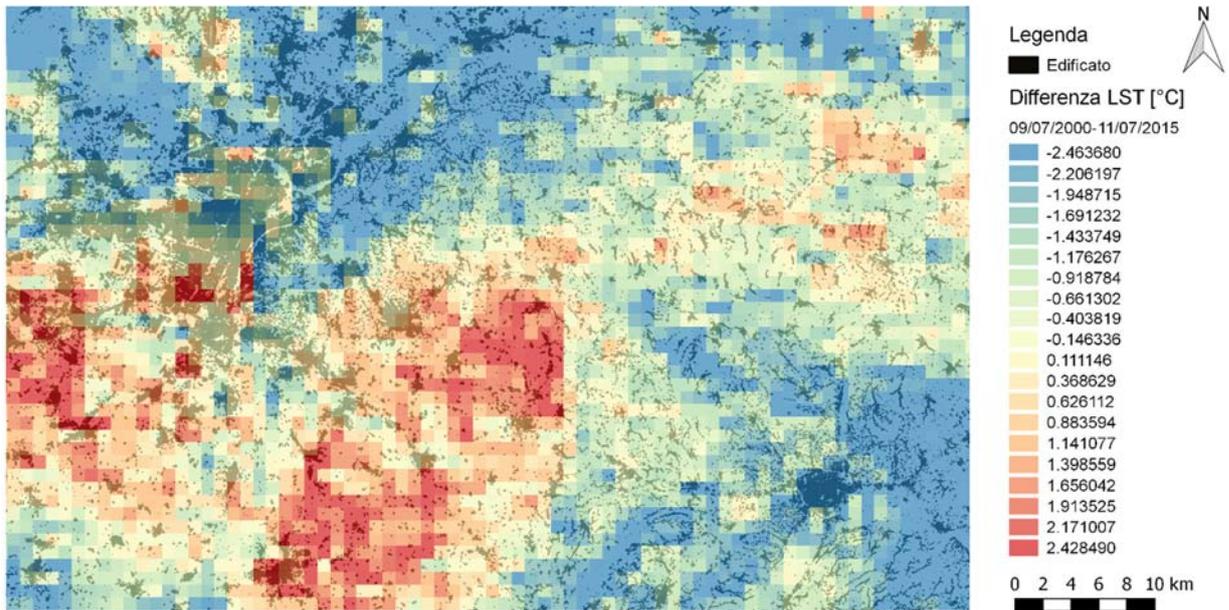


Figura 2-23: Immagine rappresentante la differenza tra il 09/07/2000 e il 11/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

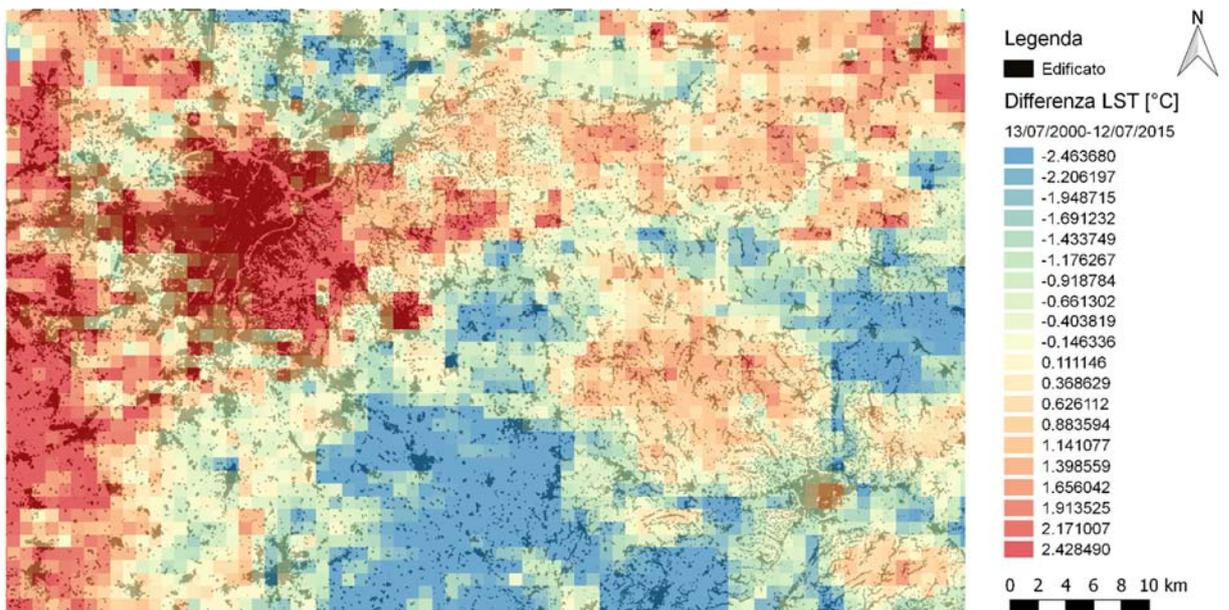


Figura 2-24: Immagine rappresentante la differenza tra il 13/07/2000 e il 12/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

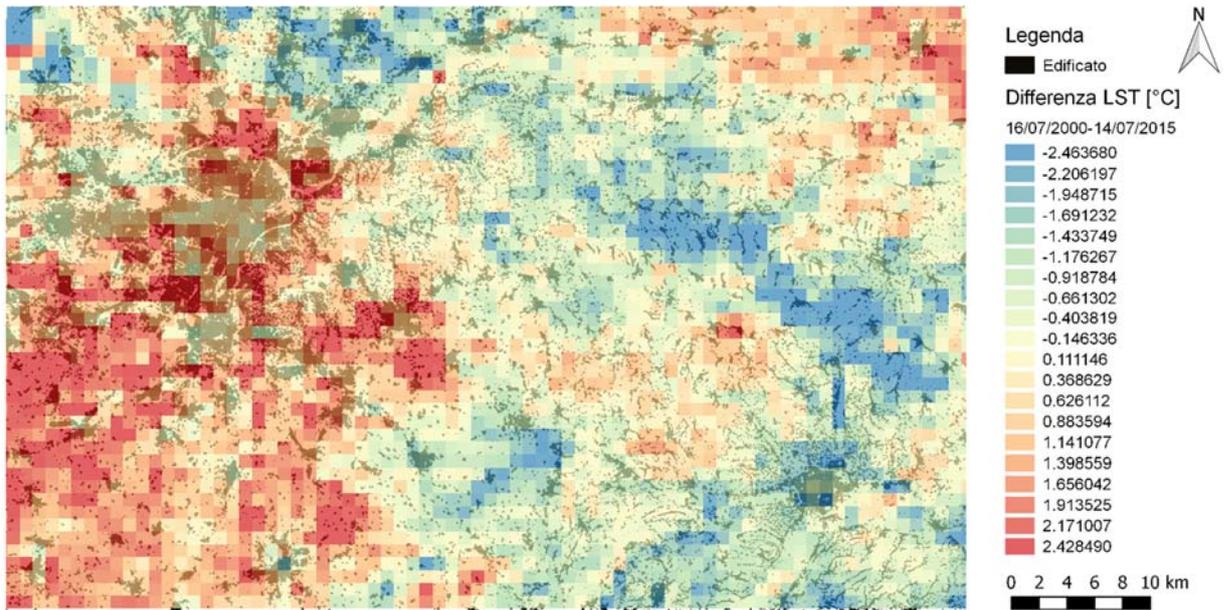


Figura 2-25: Immagine rappresentante la differenza tra il 16/07/2000 e il 14/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

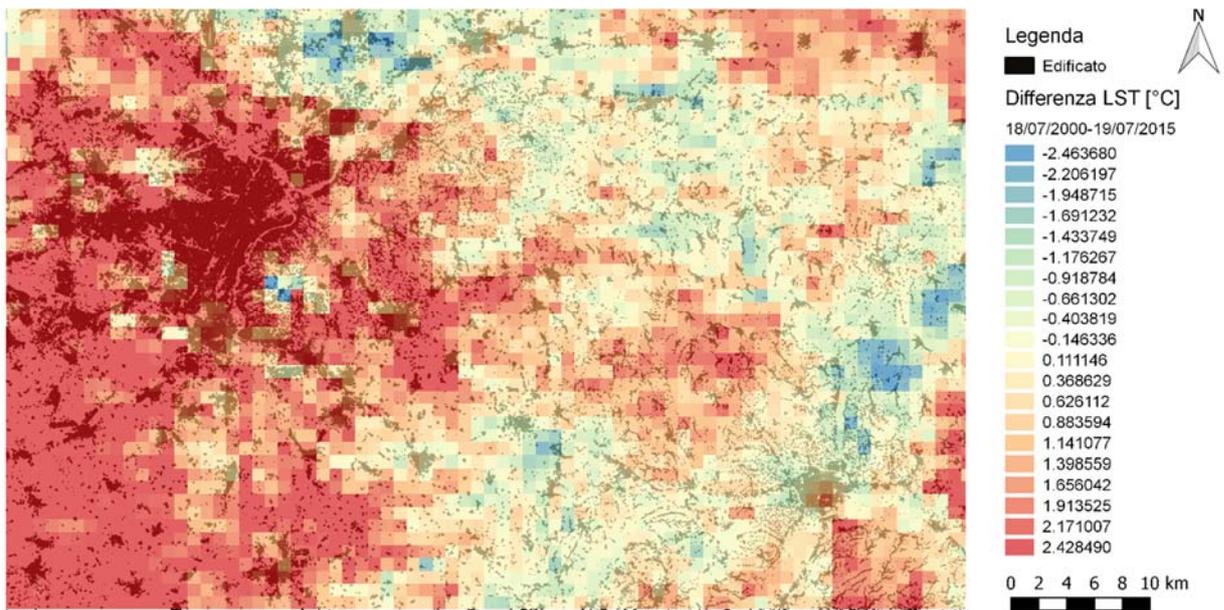


Figura 2-26: Immagine rappresentante la differenza tra il 18/07/2000 e il 19/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

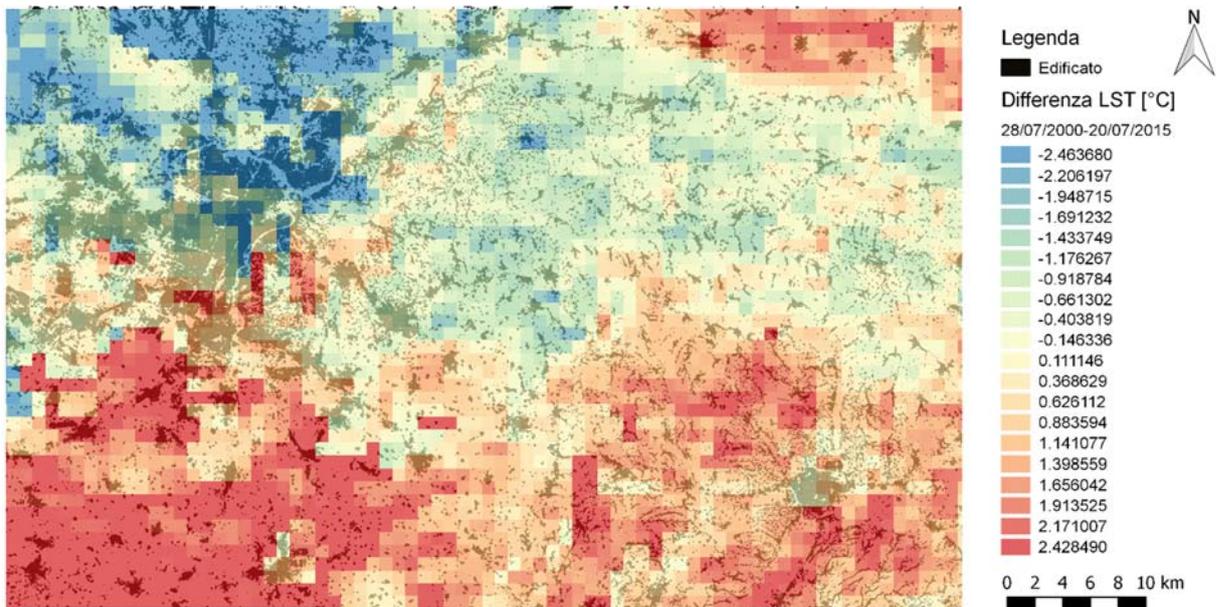


Figura 2-27: Immagine rappresentante la differenza tra il 28/07/2000 e il 20/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

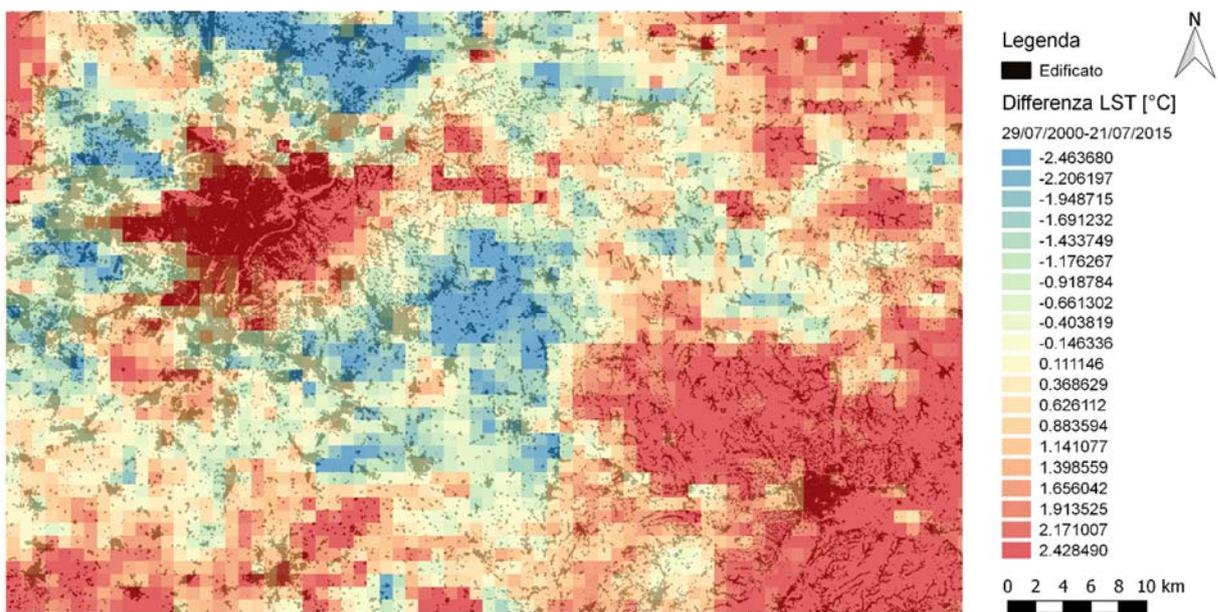


Figura 2-28: Immagine rappresentante la differenza tra il 29/07/2000 e il 21/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

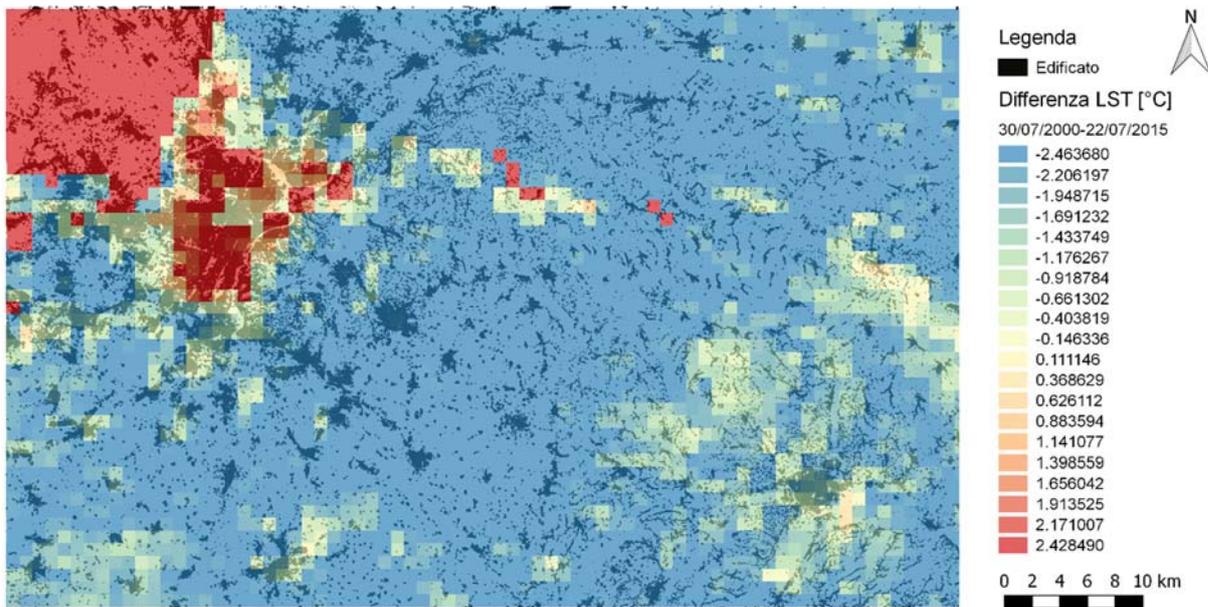


Figura 2-29: Immagine rappresentante la differenza tra il 30/07/2000 e il 22/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

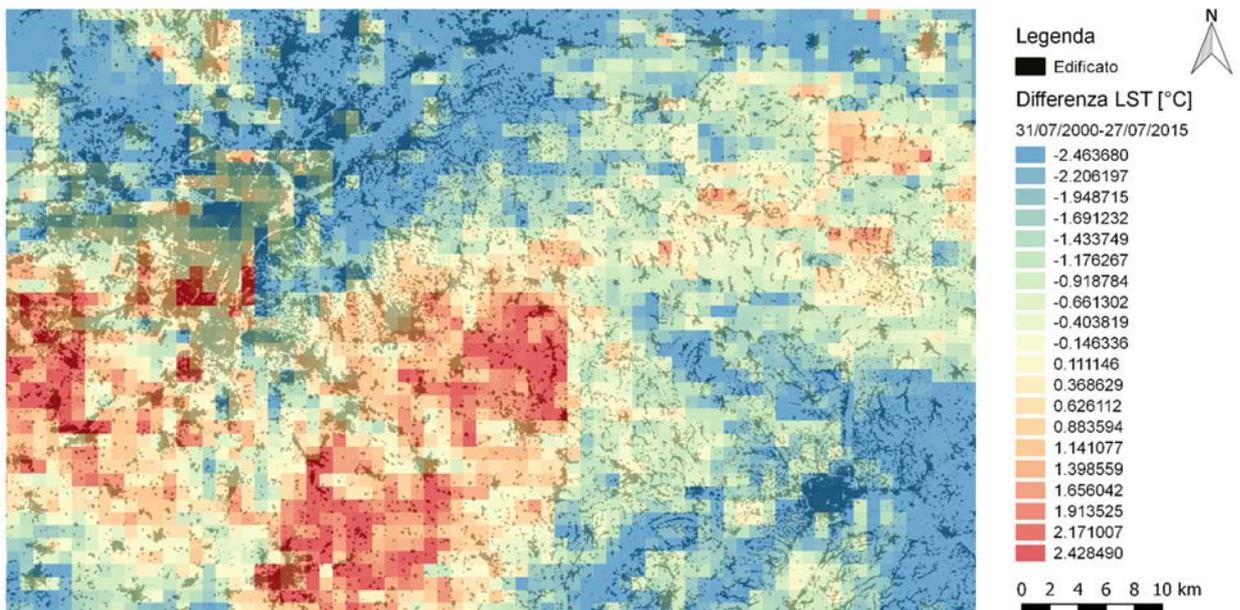


Figura 2-30: Immagine rappresentante la differenza tra il 31/07/2000 e il 27/07/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].



Su 11 immagini raster 8 confermano l'aumento delle temperature nel mese di luglio dal 2000 al 2015. In queste immagini l'isola di calore è distintamente definita, grazie ai confini molto netti tra Torino e le aree circostanti.

2.3.3. NORMALIZZAZIONE DEI DATI DI AGOSTO (08) DEL 2000 E DEL 2015

2.3.3.1. Agosto (08) 2000

Risultante x = Media delle temperature medie 2000- Temperatura media dell'immagine x 2000

Risultante **1** = 33,1246232210404 - 33,480632926844 = -0,356009705803601

Risultante **20** = 33,1246232210404 - 30,626624336726 = 2,497998884314400

Risultante **22** = 33,1246232210404 - 32,703080245714 = 0,421542975326403

Risultante **23** = 33,1246232210404 - 34,616497691674 = -1,491874470633600

Risultante **25** = 33,1246232210404 - 35,715991523195 = -2,591368302154600

Risultante **26** = 33,1246232210404 - 32,598101209488 = 0,526522011552402

Risultante **28** = 33,1246232210404 - 32,131434613642 = 0,993188607398402

Dopo il calcolo delle risultanti si sono definiti il valore massimo e minimo per la classificazione grafica (*“Allegato A – Valori termici di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015”*).

Media delle temperature massime 2000

$(40.509998321533 + 36.130001068115 + 38.509998321533 + 41.310001373291 + 40.689998626709 + 38.150001525879 + 38.610000610352) / 7 = 39,1299999782017$

Media delle temperature minime 2000

$(26.930000305176 + 27.610000610352 + 28.729999542236 + 29.829999923706 + 31.469999313354 + 27.64999961853 + 25.85000038147) / 7 = 28,2957142421177$



I risultati sono completati dall'utilizzo delle isoterme per evidenziare la distribuzione delle isole di calore (*"Allegato B – Isoterme di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015"*).

2.3.3.2. Agosto (08) 2015

Risultante x = Media delle temperature medie 2000- Temperatura media dell'immagine x 2015

Risultante **6** = $33,1246232210404 - 38,570421878799 = -5,4457986577586$

Risultante **7** = $33,1246232210404 - 37,259282703641 = -4,1346594826006$

Risultante **8** = $33,1246232210404 - 39,931434502582 = -6,8068112815416$

Risultante **11** = $33,1246232210404 - 34,341645647202 = -1,2170224261616$

Risultante **12** = $33,1246232210404 - 34,376666620311 = -1,2520433992706$

Risultante **29** = $33,1246232210404 - 32,764599039585 = 0,3600241814554$

Risultante **31** = $33,1246232210404 - 33,370928253303 = -0,2463050322626$

Media delle temperature massime 2000

$(40.509998321533 + 36.130001068115 + 38.509998321533 + 41.310001373291 + 40.689998626709 + 38.150001525879 + 38.610000610352) / 7 = 39,129999782017$

Media delle temperature minime 2000

$(26.930000305176 + 27.610000610352 + 28.729999542236 + 29.829999923706 + 31.469999313354 + 27.64999961853 + 25.85000038147) / 7 = 28,2957142421177$

Dopo la definizione delle medie da inserire su Qgis nei valori massimi e minimi per la regolazione grafica, si estraggono le isoterme per una maggiore chiarezza nella rappresentazione dell'espansione del calore nell'area urbana (*"Allegato A – Valori termici di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015"* e *"Allegato B – Isoterme di giugno, luglio e agosto del 2000 e del 2015"*).



2.3.3.3. Confronto grafico delle immagini di agosto (08) del 2000 e del 2015

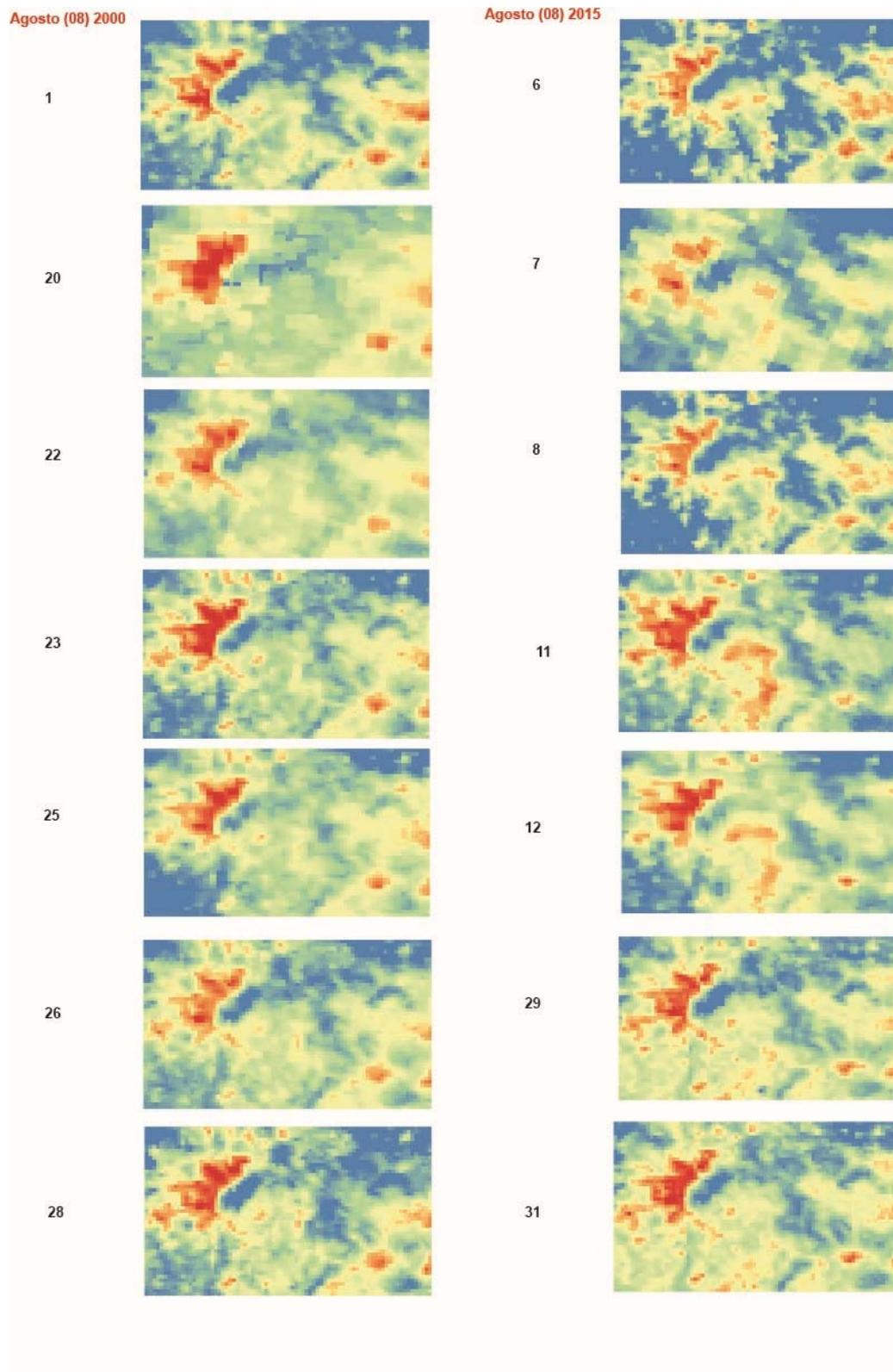


Figura 2-31: Confronto grafico dei valori termici delle immagini satellitari normalizzate [produzione propria].

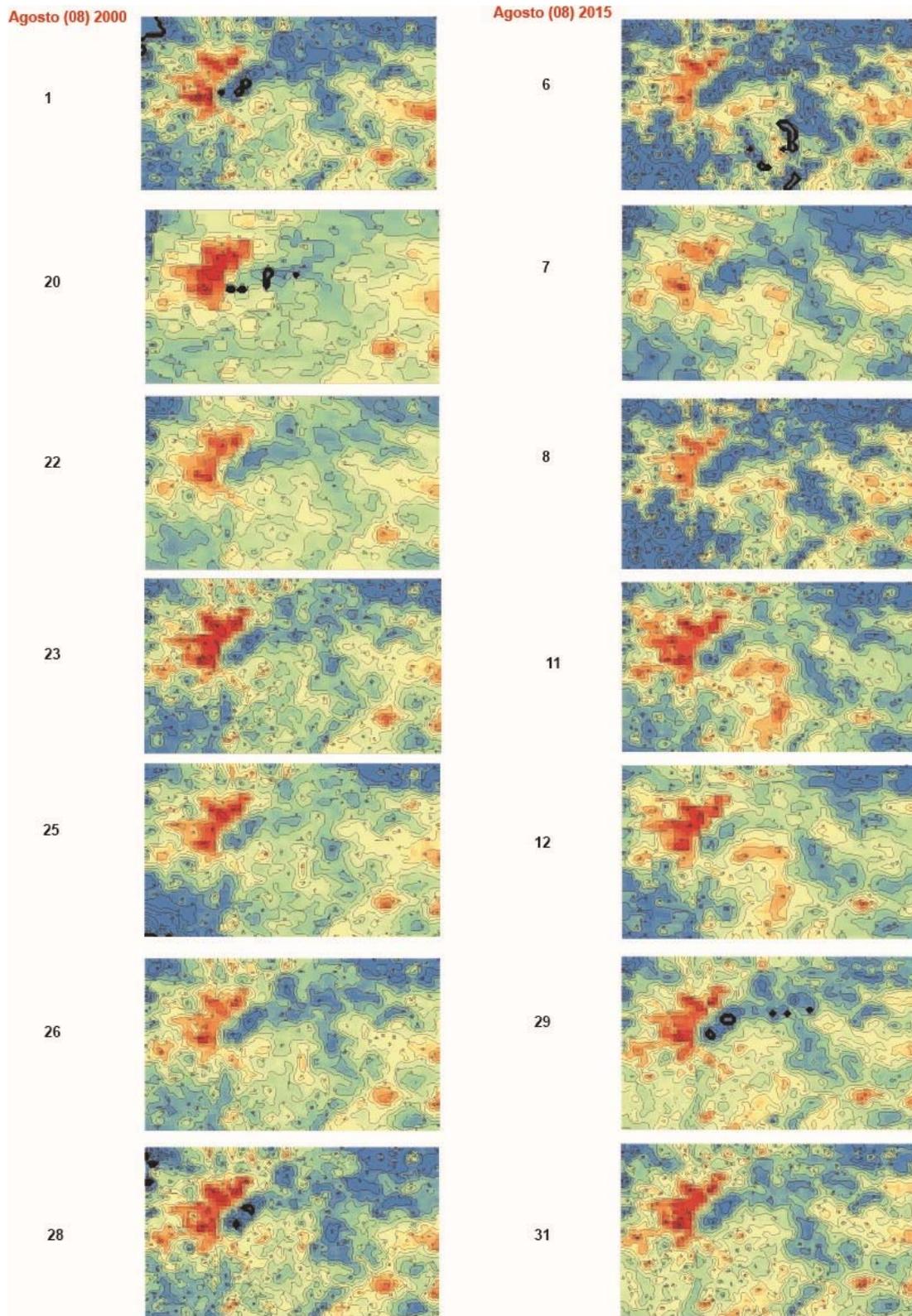


Figura 2-32: Confronto grafico delle isoterme sulle immagini satellitari normalizzate [produzione propria].



Il confronto tra i due anni nel mese di agosto è facilitato e si vede chiaramente quello che già succedeva per giugno e luglio, con un'espansione dell'isola di calore a sud-ovest, ovest e verso Caselle e Settimo. Inoltre si può vedere come notevolmente il calore si espande verso Asti.

Dalle isoterme si nota lo stesso fenomeno come avviene per i mesi precedenti, con un aumento delle isole di calore a sud-est verso Asti.

2.3.3.4. Differenza tra le immagini di agosto (08) del 2000 e del 2015

Come svolto per i mesi precedenti è ora necessario elaborare la differenza grafica tra il 2000 e il 2015 per i giorni corrispettivi (in ordine a quelli utilizzati), individuati nel mese di agosto. In questo modo si individueranno in maniera precisa dove effettivamente le temperature sono cresciute oppure diminuite. I risultati derivanti dall'elaborazione sono:

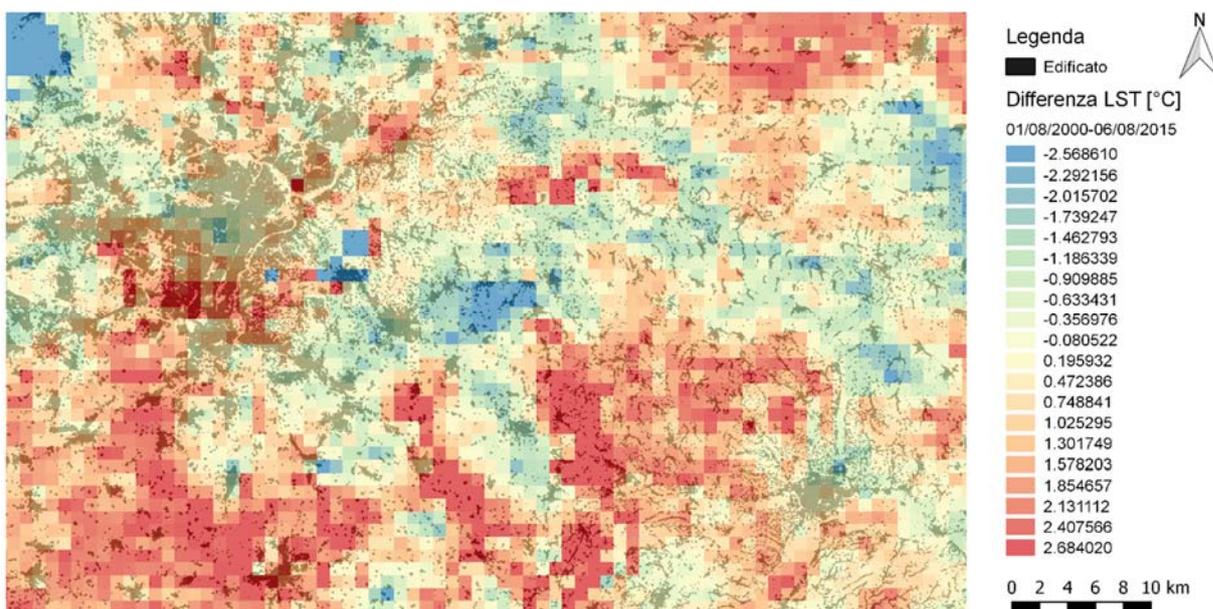


Figura 2-33: Immagine rappresentante la differenza tra il 01/08/2000 e il 06/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

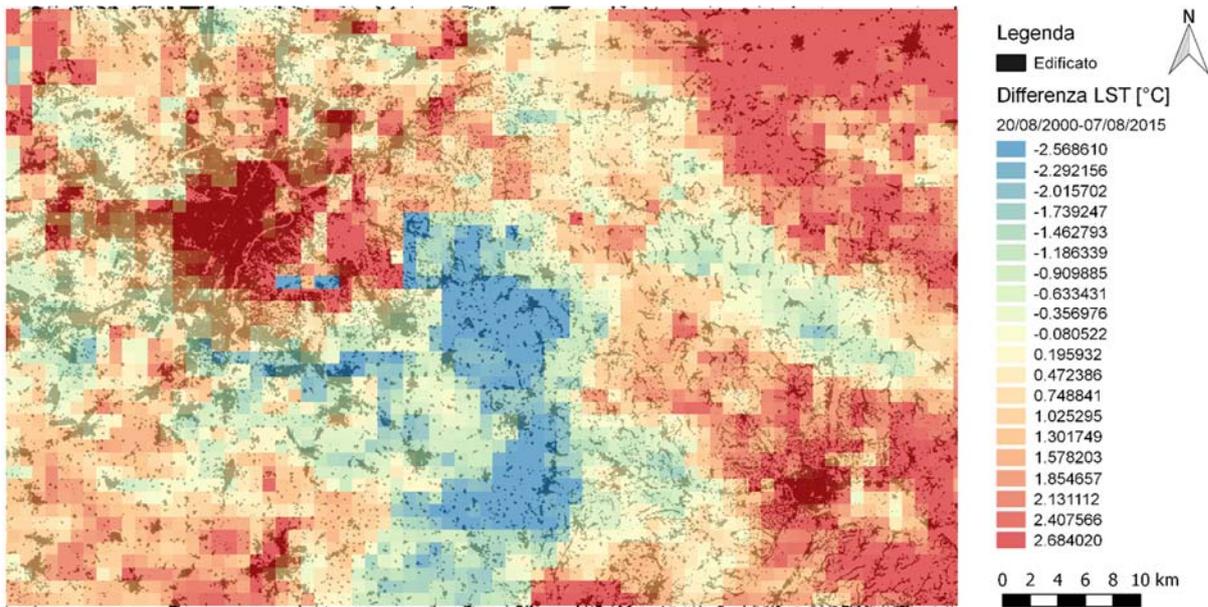


Figura 2-34: Immagine rappresentante la differenza tra il 20/08/2000 e il 07/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

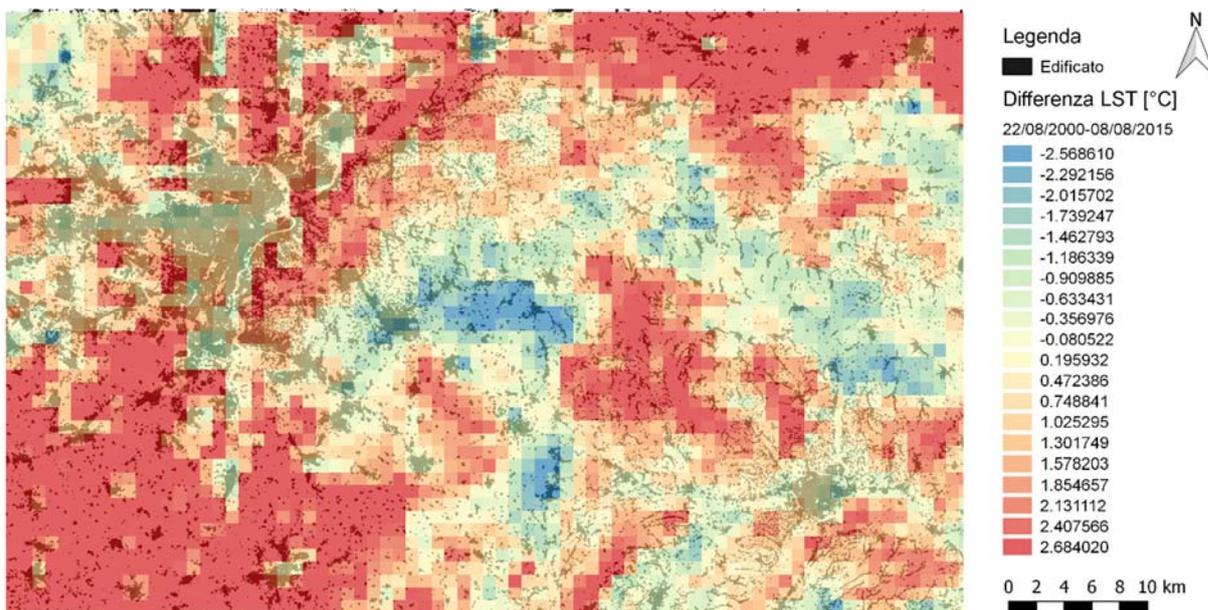


Figura 2-35: Immagine rappresentante la differenza tra il 22/08/2000 e il 08/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

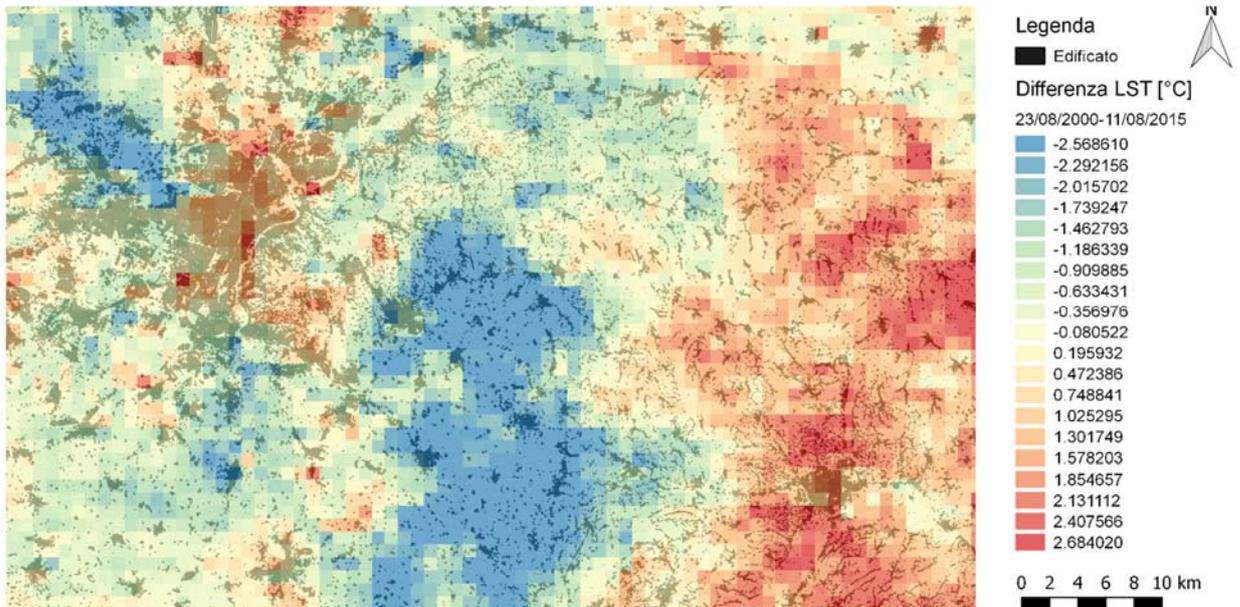


Figura 2-36: Immagine rappresentante la differenza tra il 23/08/2000 e il 11/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

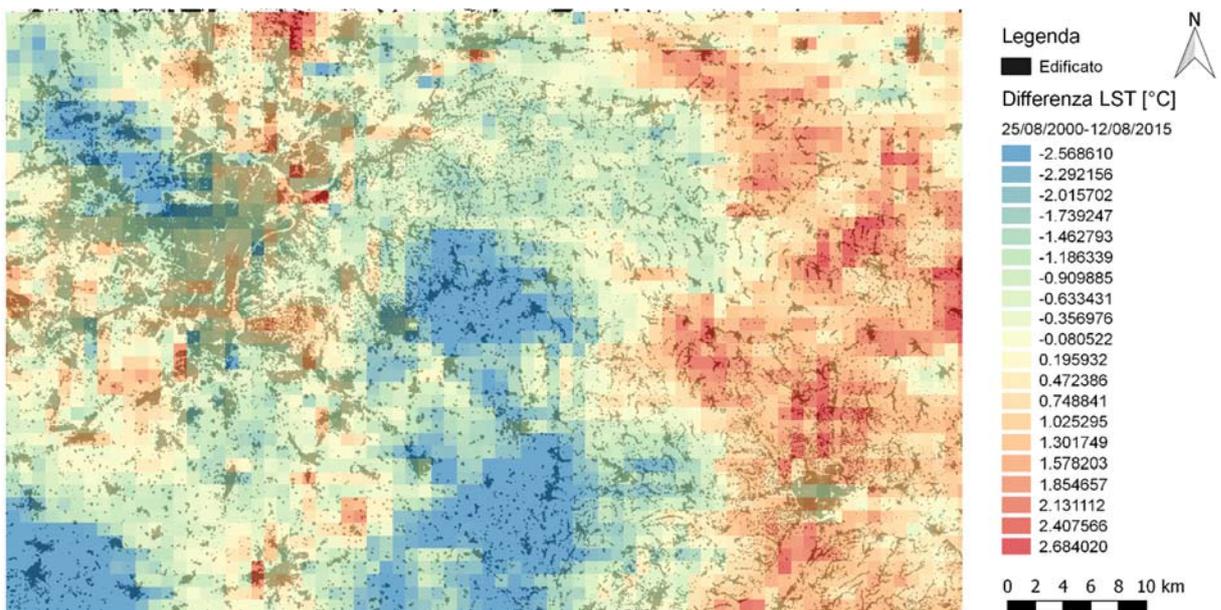


Figura 2-37: Immagine rappresentante la differenza tra il 25/08/2000 e il 12/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

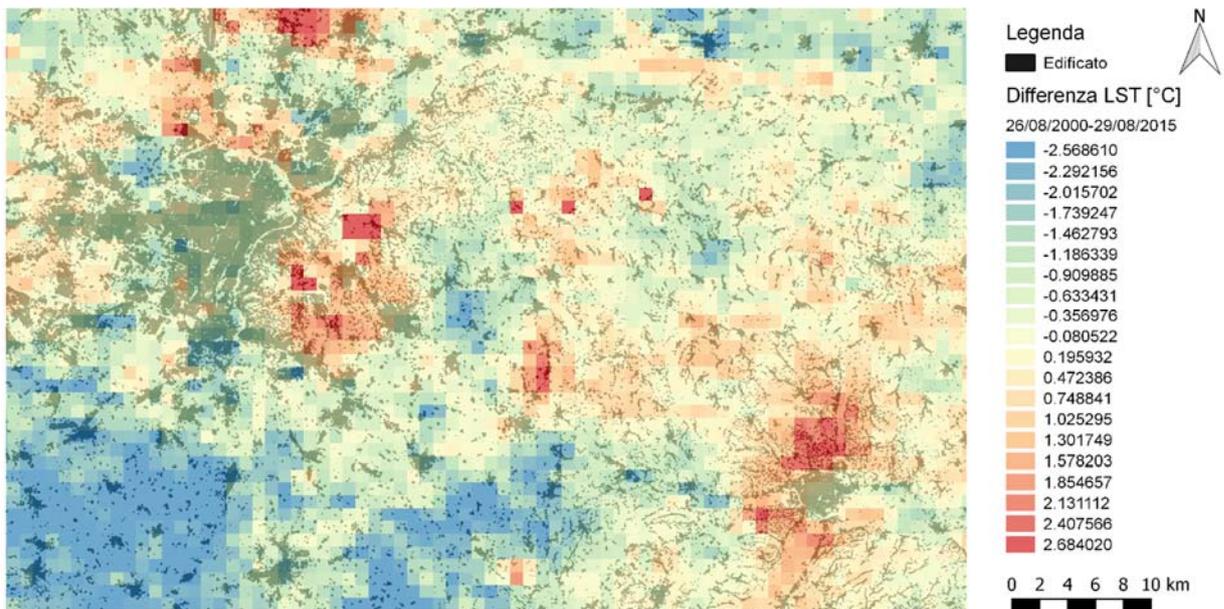


Figura 2-38: Immagine rappresentante la differenza tra il 26/08/2000 e il 29/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].

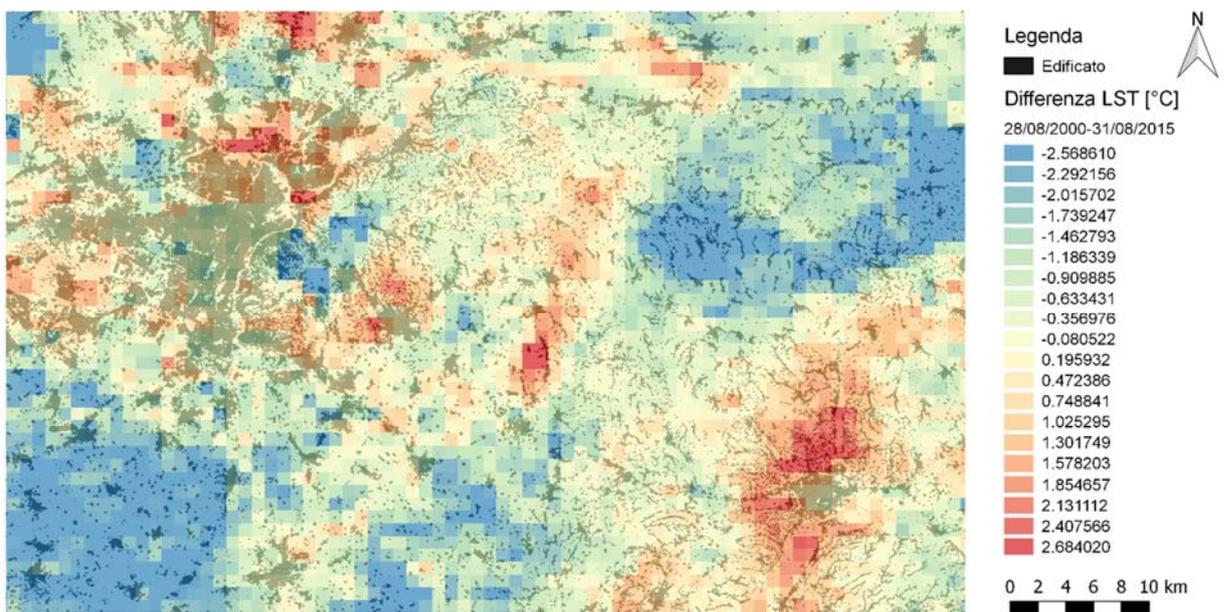


Figura 2-39: Immagine rappresentante la differenza tra il 28/08/2000 e il 31/08/2015, realizzata con Qgis [produzione propria].



Osservando il mese di agosto si nota come si differenzi dai mesi precedentemente analizzati. Si può vedere, infatti, come su 7 immagini solo due denotano chiaramente un aumento delle temperature su Torino, le altre si dimostrano stabili con un'espansione dell'isola di calore nelle aree circostanti a Torino. Tale risultato non deve compromettere, però, l'esito generale della ricerca. Potrebbe, infatti, essere stato influenzato dal fattore della variabilità climatica nei giorni scelti. La maggiore visibilità delle immagini spesso non coincide con i giorni in cui le temperature sono più elevate. Bisogna ricordare, inoltre, che nell'agosto del 2000 la registrazione dei dati era stata sospesa per due settimane.

Ovviamente questi aspetti riducono la veridicità dei risultati e l'efficacia dell'analisi, ma purtroppo bisogna tenerne conto. Fanno parte delle criticità della ricerca e dei difetti ancora da migliorare.



2.4. CONCLUSIONE DELL'ANALISI SVOLTA

Lo studio effettuato sulla Land Surface Temperature, che ha coinvolto i tre mesi estivi del 2000 e 2015, ha evidenziato per la città di Torino un aumento generale del calore. Sono emerse, infatti, dalle immagini analizzate alcune zone maggiormente evidenti, quali: l'area compresa tra Barriera di Milano e Borgo Vittoria, la parte più a Nord di Torino; la zona racchiusa tra Parella e Pozzo Strada a Ovest della città e infine lo spazio che si estende tra Santa Rita e Mirafiori a Sud di Torino. In molte immagini si nota anche che le zone centrali della città quali il centro e San Salvario mostrano un aumento delle temperature estive e nonostante si presentino in maniera inferiore, a livello dell'analisi assumono la stessa importanza. A Est del Po, invece, il fenomeno è scarsamente riscontrabile. La collina dimostra, infatti, che la diversa morfologia dell'ambiente costituente la zona comporta un minor caldo estivo. Il tanto verde e gli ampi spazi che intercorrono tra un fabbricato e l'altro sono la causa del differente comportamento. Ciò è allo stesso modo visibile sui confini urbani, dove vi è uno stacco termico graduale fino a giungere ad una netta diminuzione dell'isola di calore e delle temperature. Si riscontra, quindi, come la definizione di isola di calore si applichi perfettamente alla città di Torino che in generale presenta delle isoterme concentrate sull'area urbana, a creare una macro isola calda, sfumando ai bordi, dove l'isola viene meno e lascia il posto alla campagna. È importante, però, notare come la concentrazione delle isoterme riprenda quando si incontrano altra città, seppure diverse da Torino per dimensione e popolazione. Questo è il caso di Chieri e della costellazione di piccoli centri che la circondano, che nella maggior parte delle immagini si presentano come una striscia di calore tra le campagne, fino a raggiungere Asti che si denota come un nodo estremamente caldo. Ovviamente l'effetto isola di calore non è definito come a Torino ma le isoterme documentano comunque che il comportamento è simile anche per le città di minor dimensione. Questo aspetto è, invece, quasi invisibile nelle aree ad ovest del circondario torinese, dove per la presenza di molte aree verdi come boschi e parchi e di un'altitudine più elevata, le temperature non raggiungono valori intensi durante il periodo estivo, non comportando così particolari rischi.



L'analisi in generale dimostra, perciò, che il metodo di cui si è usufruito è valido e potrebbe essere utilizzato anche nello studio dei valori termici mettendo a confronto l'intera regione Piemonte.

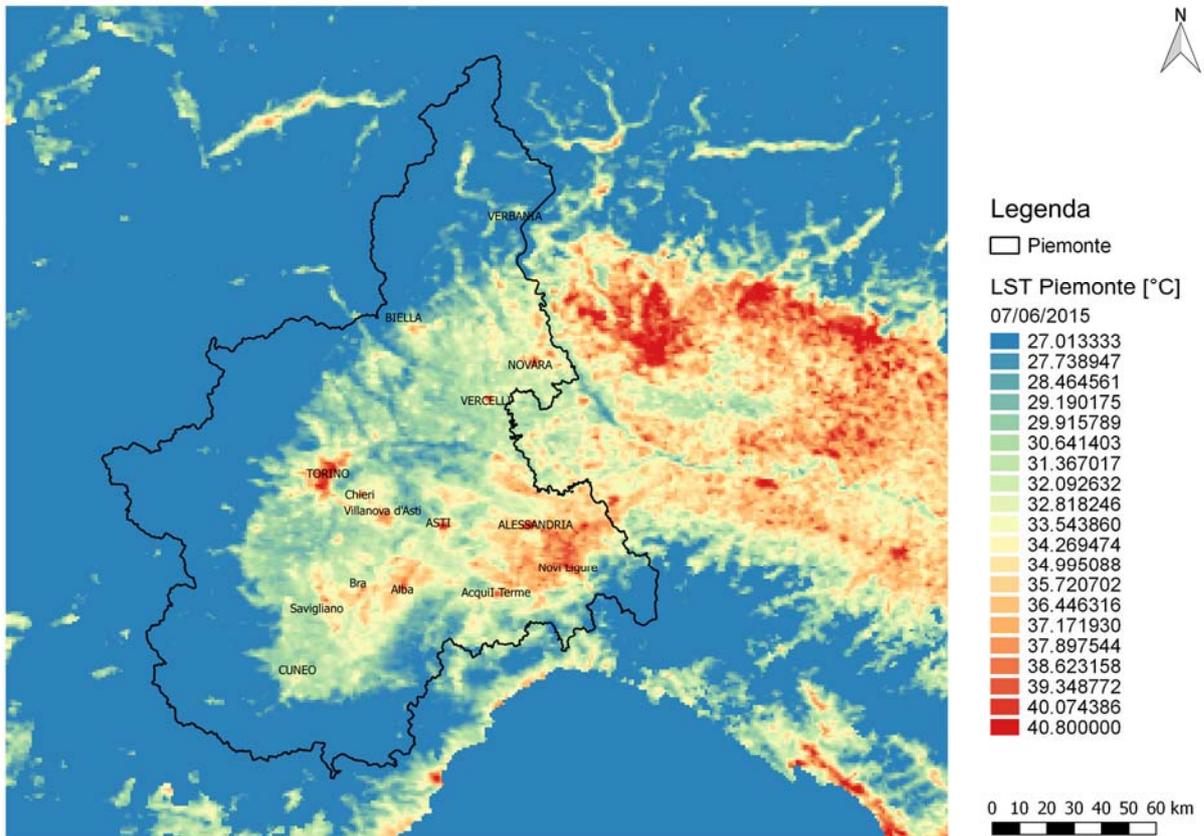


Figura 2-40: Esempio dell'analisi estesa a tutta la regione Piemonte [produzione propria su Qgis].

La fig. 2-40 dimostra proprio la fattibilità dell'analisi sull'intera regione Piemonte, mettendo in evidenza la sussistenza del problema delle isole di calore anche sul resto del territorio, oltre la città di Torino. A primo impatto guardando l'immagine si riscontrano tre nuclei con temperature elevate che includono:

- Torino, Chieri e Villanova d'Asti;
- l'area che si estende su Alba, Bra e Savigliano, tralasciando invece Cuneo che per la morfologia territoriale e la vicinanza alle montagne gode di una condizione ambientale e termica privilegiata;
- infine tutta la zona dell'Alessandrino, un polo estremamente rovente.



Oltre i confini piemontesi non si può poi non notare il rosso che pervade la pianura padana e le aree centrali della Lombardia. Ovviamente spicca Milano con la sua forte presenza sull'area. Ma questo studio comporterebbe un'analisi molto più approfondita e la disposizione di dati per tutti i capoluoghi e le città presenti sul territorio.

Sebbene, infatti, attraverso l'analisi dei tre mesi si nota in generale un'espansione dell'isola di calore sul territorio e valori termici elevati, va, però, sottolineato l'estrema delicatezza dell'analisi e dell'interpretazione dei file, data dalla difficoltà nel reperire file ottimali per l'elaborazione. La scelta effettuata si è svolta tra moltissime immagini e quelle ottenute in alcuni casi si presentano comunque non perfette, poiché presentano valori nulli che nonostante non influiscano sui calcoli, influiscono sulla parte grafica. O in altri casi le immagini sono sfocate già originariamente.

L'esperimento di analisi ha portato, quindi, a dei risultati effettivi, ma con molte problematiche ancora da analizzare e da risolvere.

II PARTE

APPLICAZIONE DELL'ANALISI DEL RISCHIO ALLE ONDATE DI CALORE NELL'AMBITO URBANO DELLA CITTA' DI TORINO



3. INTRODUZIONE ALL'ANALISI DEL RISCHIO

3.1. IL CASO STUDIO E LO SCOPO DELL'ANALISI

ANALISI DEL RISCHIO DA ONDATE DI CALORE NEL PERIODO ESTIVO (GIUGNO, LUGLIO E AGOSTO) DEL 2015

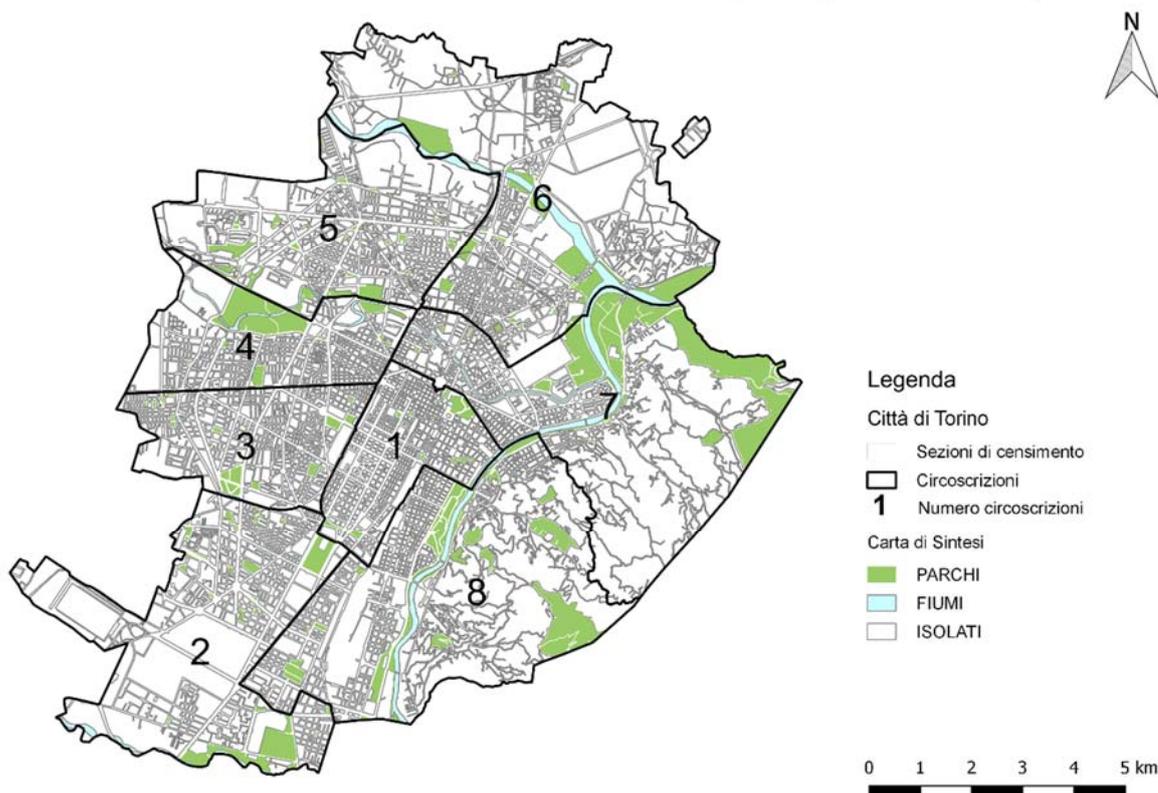


Figura 3-1: Tavola raffigurante il caso studio, ovvero la città di Torino suddivisa nelle sue otto circoscrizioni e lo scopo, ovvero l'analisi del rischio da ondate di calore [produzione propria su Qgis].

Il caso studio preso in considerazione per svolgere l'analisi del rischio da ondate di calore è stata la Città di Torino, nel periodo estivo (giugno, luglio e agosto) del 2015 (come visto precedentemente il 2015 è stato uno degli anni più caldi nell'ultimo decennio). Capoluogo della regione piemontese e dell'omonima città metropolitana, è la città più grande in Piemonte con una popolazione pari a 888.921 abitanti (31 dicembre 2016 - Servizio statistica e toponomastica, 2016) suddivisa in 8 circoscrizioni (dal 1 gennaio 2016, art. 65 del regolamento del decentramento n°. 374). Tra i capoluoghi piemontesi, Torino è quello che ovviamente mostra nel 2015 un numero maggiore di decessi estivi e le temperature risultano essere tra le più elevate (Arpa,



2015). Ogni estate, infatti, l'effetto della grande isola di calore aumenta le conseguenze negative delle ondate di calore. La sua collocazione, tra le colline ad est e la corona della Alpi ad ovest, impedisce la ventilazione necessaria a smaltire gli inquinanti e a raffrescare il clima. In inverno, infatti, le concentrazioni di particolato nell'aria raggiungono livelli allarmanti mentre in estate questa condizione va ad aumentare l'isola di calore, impedendo il raffreddamento notturno. In questo modo le temperature crescono esponenzialmente per tutta la stagione estiva senza la possibilità di diminuire, come avviene, invece, nelle campagne che circondano la città. Nonostante, infatti, Torino sia classificata con un clima temperato continentale e quindi con inverni secchi e freddi ed estati calde e umide, le ondate di calore hanno fatto registrare un aumento. Sui 124 giorni del periodo estivo, in cui era attivo il sistema di allerta previsionale, 84 di questi hanno registrato almeno un'ondata di calore effettiva. Inoltre le temperature massime nella città di Torino dal 1971 al 2015 sono aumentate di circa +1.2°C ogni decennio nel periodo di giugno e luglio. Di conseguenza le morti osservate sono state superiori a quelle attese, con un 23% in più per gli Over 65 ma anche a quelle degli anni precedenti, superando addirittura il 2003, come visto già nel capitolo 2.5.1.1.

Il fine ultimo della valutazione del rischio nell'ambito torinese è, quindi, quello di georiferire il rischio del periodo estivo del 2015, attraverso una mappatura per aggregazioni di unità di censimento e poter così osservare sulla mappa dove la popolazione è più a rischio di mortalità, durante le ondate di calore. Lo scopo dell'analisi e in particolare delle mappe è rappresentato dal condizionare i tecnici nella pianificazione dell'area urbana nella distribuzione dei servizi essenziali alla popolazione, ma anche mettere in guardia i soggetti deboli residenti nelle determinate zone più a rischio e infine studiare gli appropriati metodi e strumenti per l'adattamento. Tali fini sono gli stessi portati in campo dal progetto "Multi-hazard, exposure assessment for the Turin Adaptation Strategy" dell'agenzia GeoAdaptive, che si occupa di valutazione e analisi del rischio per differenti eventi estremi. La ricerca, commissionata dal comune di Torino, ha il compito di supportare la città nella redazione del piano di adattamento ai cambiamenti climatici. La GeoAdaptive ha sviluppato un processo analitico che mette in combinazione i valori termici derivanti



dai satelliti con i dati di temperatura storici per individuare le onde di calore e le aree che ne risultano più suscettibili. Il team ha in seguito elaborato un modello di esposizione socio-economico per determinare la popolazione interessata. Hanno riservato una particolare attenzione alle zone industriali, ai quartieri storici e agli spazi aperti. Il punto focale del progetto, inoltre, riguarda l'analisi della distribuzione spaziale delle isole di calore, che fungono da recettori del calore, incrementando le temperature estreme.

La valutazione del rischio è perciò indispensabile per un corretto approccio da parte dei tecnici del territorio alla pianificazione e all'uso del suolo e degli spazi della città, per assicurare la salute della città e dei suoi residenti. In generale per poter eseguire una valutazione efficace del rischio è però necessario scegliere la metodologia di calcolo più adatta.



3.2. LA METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE

La valutazione del rischio in ambito ambientale nasce con lo scopo di analizzare i fattori in grado di mettere in pericolo un certo numero di persone, in una determinata area. Nel documento delle United Nations (UN) del 1992 viene, infatti, data questa definizione del rischio: "Risk is the expected loss (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability" (pag. 52). Come descritto il rischio è, quindi, la probabilità che avvenga un determinato evento che potrebbe portare alla perdita di beni e vite umane. In termini strettamente matematici consiste nell'interazione tra pericolo, vulnerabilità ed esposizione. La valutazione del rischio si rispecchia, infatti, nella formula:

$$R = H \times V \times E$$

dove il R, ovvero il rischio, è funzione di:

H = Hazard (pericolo), ovvero la probabilità che un evento dannoso di intensità I si verifichi sull'area assegnata, nel corso di un certo periodo di tempo (n anni);

V = Vulnerability (vulnerabilità), ovvero la percentuale di perdita (da 0 a 1) legata all'entità, alla suscettibilità, alla fragilità della società e alla sua capacità di reagire agli eventi pericolosi;

E = Exposure (entità), ovvero il valore dei beni o numero persone a rischio.

Un altro fattore da tenere in considerazione è, invece, la resilienza del luogo e quindi la sua capacità ad adattarsi agli eventi. Il termine resilienza determina, infatti, la capacità del luogo e delle persone di ritornare allo stato precedente ad un evento dannoso.

Ridurre il rischio vuol dire, perciò, considerare gli aspetti fisici del rischio ma anche gli aspetti sociali, poiché risultato di un potenziale pericolo e delle condizioni di vulnerabilità di un sistema esposto. Importante è considerare anche la gestione del rischio che deve essere parte delle decisioni politiche e di sviluppo di piani per una maggiore capacità nella gestione e nella riduzione della vulnerabilità. In Europa la valutazione e la gestione del rischio non sono ancora così diffusi tra gli attori



responsabili del territorio e perciò l'utilizzo dei metodi ideali può costituire un'occasione per capire meglio il problema e per orientare le decisioni, facilitandone l'utilizzo. La mancanza di conoscenza è, infatti, uno dei fattori che incidono sulla vulnerabilità del territorio e delle persone ed è potenzialmente dannosa all'occorrenza di un evento naturale calamitoso.

In particolare il primo passaggio da effettuare è l'identificazione del rischio che nel caso in analisi corrisponde alle possibili perdite di vite umane a causa dell'hazard, coincidente con le ondate di calore. In seguito bisogna, invece, riconoscere i fattori e gli indicatori che compongono e influiscono sull'hazard o pericolo, sulla vulnerabilità, sull'esposizione e sull'adattamento. Quest'ultimo fattore citato non rientra propriamente nella formula del rischio ma è comunque importante da considerare. Si tratta, infatti, di elementi di adattamento presenti sul territorio torinese, in grado di migliorare la risposta al rischio e di ridurre gli impatti negativi.

All'interno delle componenti è fondamentale, perciò, la consapevolezza e la padronanza degli indicatori che, nella loro interazione, devono fornire una visione ampia e chiara per la conseguente stima del rischio.

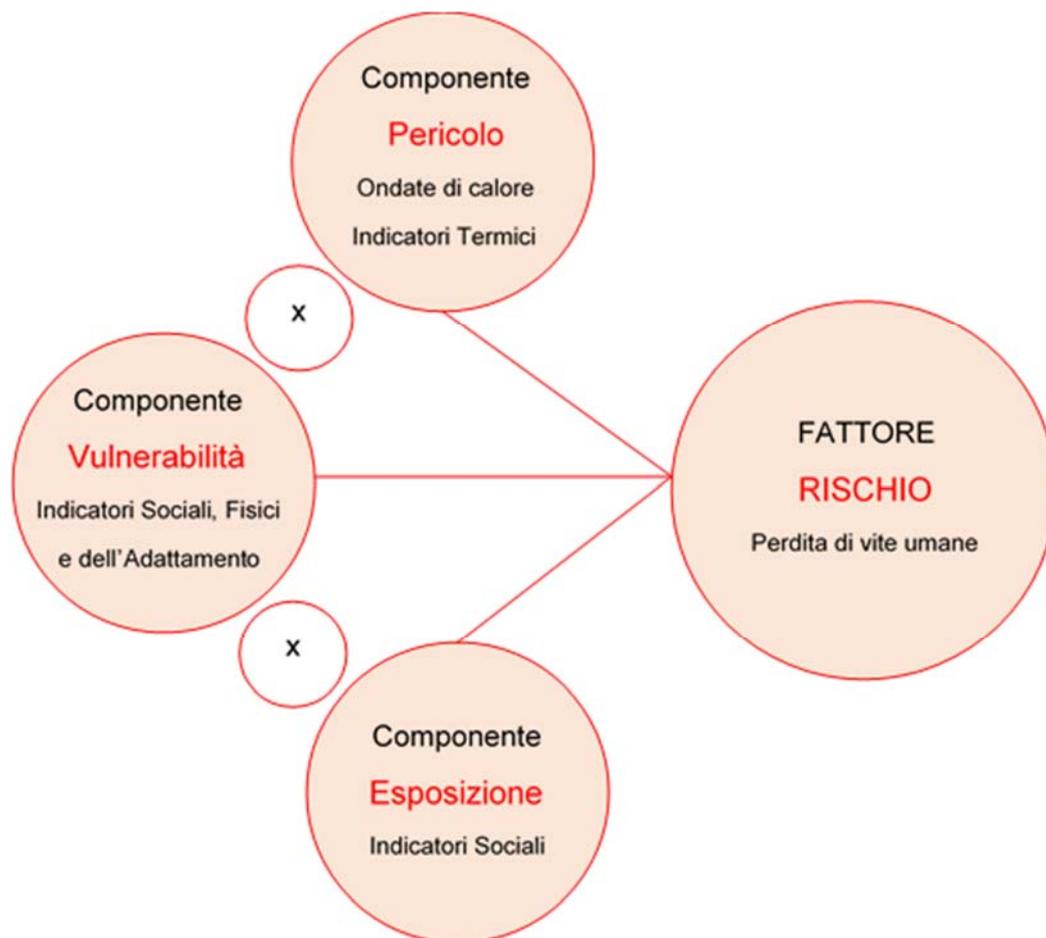


Figura 3-2: Individuazione schematica dei componenti dell'analisi del rischio [produzione propria].

L'individuazione dei numerosi indicatori che andranno poi a comporre i fattori del pericolo, vulnerabilità ed esposizione, può essere svolto in determinati modi. Inizialmente, perciò, si è deciso di rivolgere l'attenzione verso la metodologia MOVE e successivamente si sono analizzati differenti documenti tecnici dell'Arpa e dell'Ispra. Il processo di elaborazione per stimare il rischio come si vedrà in seguito sarà attuato, invece, non seguendo il MOVE ma attraverso passaggi di calcolo sugli indicatori e sulle componenti quali pericolo, vulnerabilità ed esposizione. Ma senza andare troppo avanti nella spiegazione, è necessario ora spiegare il metodo Move e gli indicatori che mette in campo.



3.2.1. IL METODO MOVE (METHODS FOR THE IMPROVEMENT OF THE VULNERABILITY ASSESSMENT IN EUROPE) PER LA RICERCA DEGLI INDICATORI

Il metodo MOVE (Methods for the Improvement of the Vulnerability Assessment in Europe) è stato sviluppato a partire dalla necessità di migliorare la valutazione della vulnerabilità dei luoghi agli eventi calamitosi naturali. Il metodo si basa su un approccio olistico della valutazione del rischio, considerando di base il concetto di vulnerabilità, composto da moltissimi elementi. L'approccio prevede che queste componenti in sé non siano sufficienti a spiegare il funzionamento del sistema, ma devono essere trattate e misurate insieme, come un'unità sola, per poter avere un risultato significativo, poiché la loro sommatoria è sempre maggiore o inferiore alla risultante.

Il database di MOVE è, infatti, costruito sulla relazione tra le componenti della vulnerabilità e ogni componente sviluppa e combina diversi indicatori. Il fattore innovativo del metodo fonda le sue radici proprio sugli indicatori, immessi nel database attraverso dei casi studio reali, e man mano che il metodo viene sperimentato gli indicatori possono essere aggiunti o modificati in itinere. La partecipazione è, quindi, molto importante trattandosi di un metodo interattivo e sempre in progressione. Questo permette non solamente di migliorare la valutazione della vulnerabilità, ma anche di fornire possibili opzioni di gestione del rischio.

3.2.1.1. La struttura

Il metodo MOVE è stato concettualizzato, quindi, all'interno di una struttura interattiva (fig. 3-2), in grado di facilitarne l'utilizzo per una corretta valutazione della vulnerabilità.

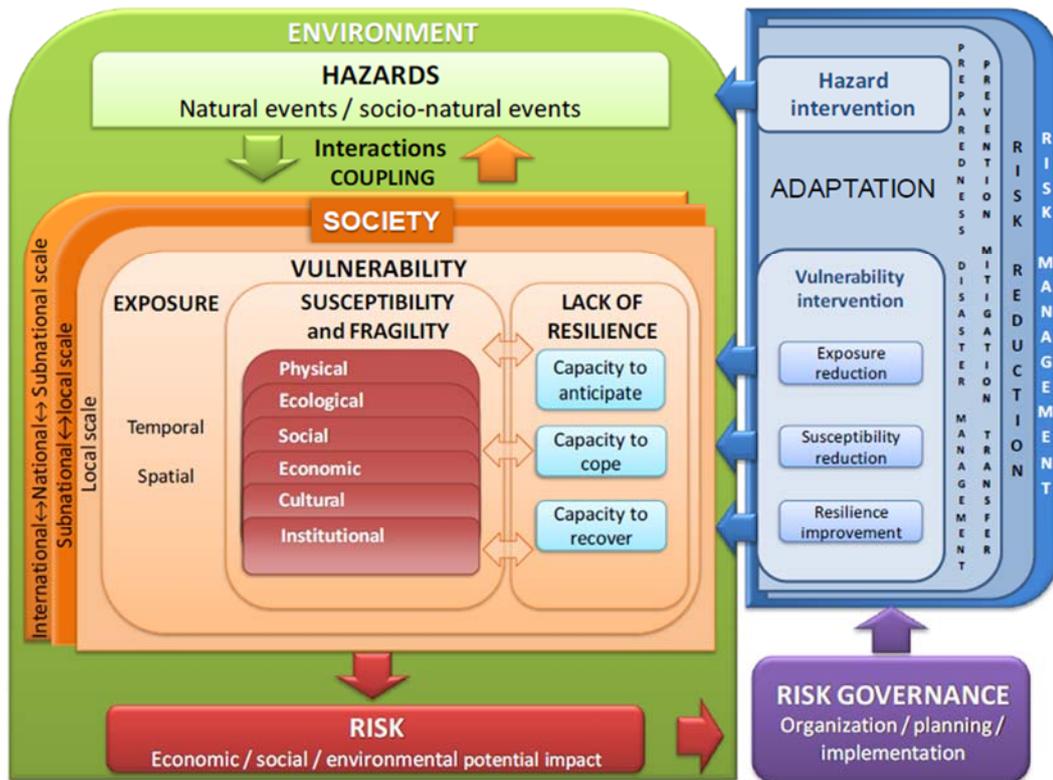


Figura 3-3: Database rappresentante il funzionamento della metodologia MOVE [European Commission Research & innovation dg (2011), MOVE. D.4.2 Handbook of Vulnerability Assessment in Europe, European Commission Research & innovation dg, Germania].

La struttura è generica per semplificare l'identificazione iniziale degli elementi che costituiscono il doppio sistema sociale-ecologico e guidare il conseguente sviluppo logico e comparativo degli indicatori. Il diagramma illustra due concetti principali: il primo riguarda il rischio considerato come il risultato dell'esposizione della società al pericolo nel tempo e nello spazio e della vulnerabilità della società. I pericoli possono essere eventi naturali o sociali-naturali (combinazione della società e dell'ambiente); il secondo consiste nella gestione del rischio e nell'adattamento del sistema che andranno ad influire e modificare le iniziali condizioni di vulnerabilità o i pericoli presenti.



3.2.1.2. Gli indicatori

Utilizzando il database interattivo (fig. 3-3) è possibile valutare gli indicatori di interesse, che rispondono principalmente ad un hazard, ovvero al pericolo ondate di calore e secondariamente al pericolo delle temperature shock.

MOVE Indicator Database Visualizer

© 2011 Z_GIS

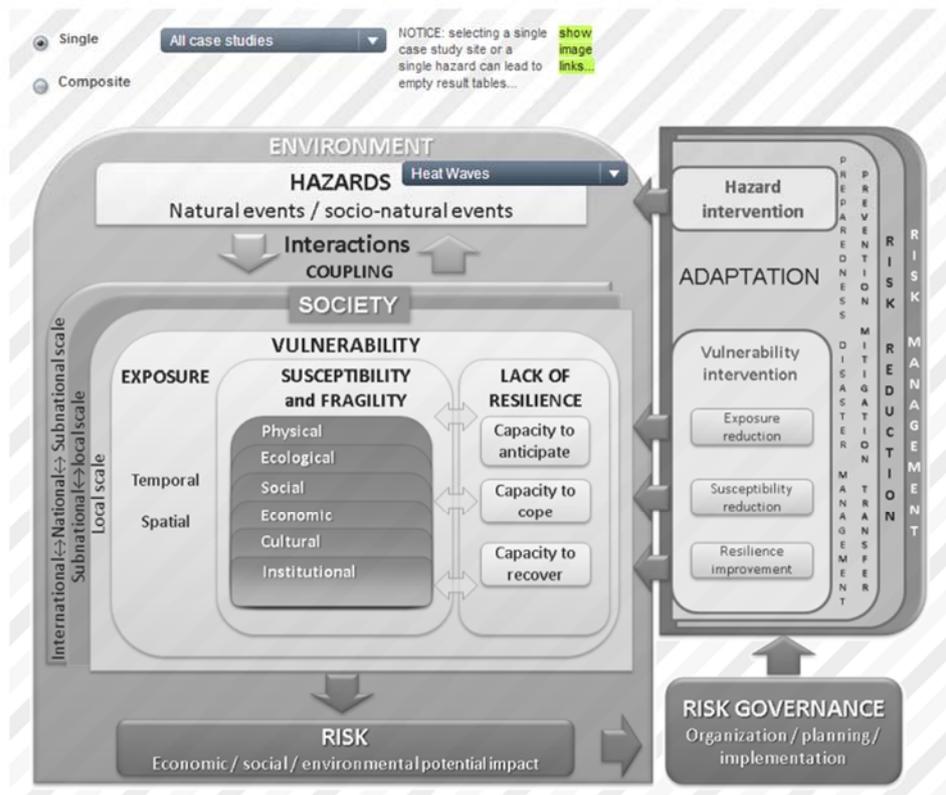


Figura 3-4: Database interattivo, da cui è possibile ricavare gli indicatori

[\[http://www.qi4drr.org/move/move_query/#\]](http://www.qi4drr.org/move/move_query/#).

Gli indicatori trovati fanno parte di tre componenti, ovvero la vulnerabilità, la governance del rischio e il rischio. Queste sono suddivise in sub-componenti che comprendono differenti dimensioni. Interessante è notare come all'interno del database gli indicatori siano suddivisi a seconda delle loro caratteristiche e quindi se sono quantitativi o qualitativi; a che scala sono presenti, se locale, subnazionale, nazionale o internazionale e con quale caso studio reale sono stati validati. È doveroso specificare che non tutti gli indicatori presenti nel database sono stati presi in



considerazione, poiché alcuni non sono stati reputati adatti ad essere applicati al caso in analisi su Torino.

PERICOLO: ONDATE DI CALORE

VULNERABILITA'

Suscettibilità e fragilità

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
21	Relative Air Humidity		Heat Index	Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Physical		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
22	Hospital Access Data			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Physical		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale

Tabella 3-1: ****

Dimensione fisica:

- Umidità relativa dell'aria
- Dati di ricovero delle strutture ospedaliere

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
95	unemployment rate			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		Cologne/ Bonn	Heat Waves	quant	Local scale
96	foreigners			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		Cologne/ Bonn	Heat Waves	quant	Local scale
190	Elderly women - over 65 years			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
191	Elderly women - over 75 years			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
192	Elderly men - over 65 years			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
193	Elderly men - over 75 years			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
203	Population Density			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Social		South Tyrol	Heat Waves	quant	District level

Tabella 3-2: ****

Dimensione sociale:

- Tasso di disoccupazione
- Stranieri
- Donne anziane – oltre 65 anni
- Donne anziane – oltre 75 anni
- Uomini anziani – oltre 65 anni



- Uomini anziani – oltre 75 anni
- Densità della popolazione a scala distrettuale

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_id	Composit e_Ind_Nam e	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
42	Institutional vulnerability : Protection goals			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Institutional		Cologne/Bonn	Heat Waves	qual	Local scale
78	Institutional vulnerability : Access to information about risk			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Institutional		Cologne/Bonn	Heat Waves	qual	Local scale
82	Institutional vulnerability : Personnel resources - Staff			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Institutional		Cologne/Bonn	Heat Waves	qual	Local scale
85	Institutional vulnerability : Cooperation			Vulnerability	Susceptibility and Fragility	Institutional		Cologne/Bonn	Heat Waves	qual	Local scale

Tabella 3-3: ****

Dimensione istituzionale:

- Vulnerabilità istituzionale: obiettivi di protezione
- Vulnerabilità istituzionale: accesso alle informazioni sul rischio
- Vulnerabilità istituzionale: risorse umane – staff, esperti
- Vulnerabilità istituzionale: cooperazione

Esposizione

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_id	Composite_Ind_Nam e	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
17	maximum daily Temperature	1	Heat Index	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
17	maximum daily Temperature	1	Heat Index	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	maximum Temperature
194	Relative Air Humidity	28	Dew-point temperature	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
194	Relative Air Humidity	27	Heat Index	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
195	Maximum air temperature	28	Dew-point temperature	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
195	Maximum air temperature	27	Heat Index	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
196	Minimum air temperature			Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
197	Heat days			Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
198	Heat Days	29	Combined heat days and tropical nights	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
199	Heatwaves			Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale
200	Tropical Nights	29	Combined heat days and tropical nights	Vulnerability	Exposure	Temporal		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale

Tabella 3-4: ****



Dimensione temporale:

- Temperatura massima giornaliera a scala locale e a scala assoluta
- Umidità relativa dell'aria
- Temperatura massima dell'aria
- Temperatura minima dell'aria
- Giorni caldi
- Ondate di calore
- Notti tropicali

Si può notare in questo caso come i singoli indicatori siano usati per l'analisi composta:

- Temperatura massima giornaliera per l'indice di calore
- Umidità relativa dell'aria per la temperatura del punto di rugiada
- Temperatura massima dell'aria per l'indice di calore e per la temperatura del punto di rugiada
- Giorni caldi combinati alle notti tropicali e viceversa

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
8	exposed people			Vulnerability	Exposure	Spatial		Cologne/ Bonn	Heat Waves	quant	Local scale
103	urban heat island			Vulnerability	Exposure	Spatial		Cologne/ Bonn	Heat Waves	quant	Local scale
202	Land surface temperature			Vulnerability	Exposure	Spatial		South Tyrol	Heat Waves	quant	District level

Tabella 3-5: ****

Dimensione spaziale:

- Persone esposte
- Isole di calore urbane
- Temperatura superficiale del suolo a scala distrettuale



Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
100	household size			Vulnerability	Lack of Resilience	Capacity to Cope		Cologne/ Bonn	Heat Waves	quant	Local scale

Tabella 3-6: ****

Dimensione relativa alla capacità di far fronte all'evento:

- Dimensione delle famiglie

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
20	Minimum Temperature			Vulnerability	Lack of Resilience	Capacity to Recover		South Tyrol	Heat Waves	quant	Local scale

Tabella 3-7: ****

Dimensione relativa alla capacità di recuperare:

- Temperatura minima

GOVERNANCE DEL RISCHIO

Pianificazione

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
86	existence of an emergency plan			Risk Governance	Planning			South Tyrol	Heat Waves	qual	Local scale

Tabella 3-8: ****

- Esistenza di un piano di emergenza



Organizzazione

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
205	Risk monitoring and forecasting	30	Risk Identification	Risk Governance	Organization	Planning		London	Heat Waves	qual	Local scale
205	Risk monitoring and forecasting	30	Risk Identification	Risk Governance	Organization	Planning		London	Heat Waves	qual	City level
206	Vulnerability and risk assessment	30	Risk Identification	Risk Governance	Organization	Planning		London	Heat Waves	qual	Local scale
206	Vulnerability and risk assessment	30	Risk Identification	Risk Governance	Organization	Planning		London	Heat Waves	qual	City level
207	Dissemination of information on hazard risk and response measures	30	Risk Identification	Risk Governance	Organization	Planning		London	Heat Waves	qual	Local scale
207	Dissemination of information on hazard risk and response measures	30	Risk Identification	Risk Governance	Organization	Planning		London	Heat Waves	qual	City level

Tabella 3-9: ****

Dimensione della pianificazione:

- Monitoraggio e previsione del rischio a scala cittadina e a scala locale
- Valutazione della vulnerabilità e del rischio a scala cittadina e a scala locale
- Diffusione delle informazioni sul rischio del pericolo e misure di risposta a scala cittadina e a scala locale

Tutti gli indicatori sono raggruppati per l'identificazione del rischio nell'analisi composta.

Single_Id	Single_Ind_Name	Composit e_Id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
208	Hazard and vulnerability considered in land use and planning	31	Risk Reduction	Risk Governance	Organization	Planning	Impleme ntation	London	Heat Waves	qual	Local scale
208	Hazard and vulnerability considered in land use and planning	31	Risk Reduction	Risk Governance	Organization	Planning	Impleme ntation	London	Heat Waves	qual	City level

Tabella 3-10: ****

Dimensione della pianificazione incrociata con l'implementazione:

- Pericolo e vulnerabilità considerati nell'uso del suolo e nella pianificazione a scala cittadina e a scala locale



PERICOLO: TEMPERATURE SHOCK

RISCHIO

Impatto ambientale

Single_id	Single_Ind_Name	Composit e_id	Composit e_Ind_Na me	Concept	Dimension1	Dimension2	Dimensio n3	CaseStud y	Hazard	Method	Scale
31	Hospital admissions for myocardial infarction, stroke and asthma; daily and day-to-day changes of maximum, minimum and average temperatures.			Risk	Environmental Impact			Prato, Pistoia, Florence, Lucca	Temperature Shocks	quant	Local scale

Tabella 3-11: ****

- Ricovero in ospedale per infarto miocardico, ictus e asma; cambiamento delle temperature massime, minime e medie giornaliere e giorno per giorno



4. APPLICAZIONE DELL'ANALISI DEL RISCHIO ATTRAVERSO GLI INDICATORI SUL CASO STUDIO DI TORINO

4.1. INDICATORI E DOCUMENTI TECNICI IN AUSILIO ALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

In seguito all'analisi del metodo MOVE e dei rispettivi indicatori, è stato necessario esaminare i documenti tecnici dell'Arpa e dell'Ispra, per capire quali indicatori vengono utilizzati nell'ambito italiano. Dalle letture svolte sono emersi, infatti, indicatori espressi anche dal metodo MOVE, mentre altri strettamente italiani e tralasciati dal MOVE. Quest'ultimi indicatori trattati e sviluppati in ambito totalmente italiano, si adattano perfettamente al caso studio torinese e serviranno da base per la creazione di una lista di indicatori da quantificare e da applicare alle mappature. Bisogna ricordare che i passaggi successivi all'identificazione degli indicatori non seguiranno la suddivisione del metodo MOVE, ma si baseranno su diversi step per stimare prima le tre componenti del pericolo, vulnerabilità ed esposizione e in seguito il rischio. Tutto ciò attraverso l'utilizzo del software di georeferenziazione Qgis. Un processo, quindi, capace di diventare universale e un modello concettuale, applicabile non solo all'ambito urbano di Torino, ma con le necessarie correzioni e tarature ad ogni caso urbano colpito da temperature estreme.

Rilevanti sono, inoltre, gli indicatori dell'adattamento che nel caso del metodo MOVE per le ondate di calore non erano presenti. Ciò rappresenta un limite, poiché la presenza di fattori di adattamento ambientale sono fondamentali per combattere gli eventi estremi. Adattamento vuol dire, infatti, ridurre la vulnerabilità ma anche l'esposizione e di conseguenza il rischio. È importante, pertanto, considerarli già nell'analisi del rischio, all'interno della componente della vulnerabilità, sebbene verranno assunti al complementare, ovvero sottolineando le aree di Torino in cui l'adattamento è minore e di conseguenza si incrementa la vulnerabilità.

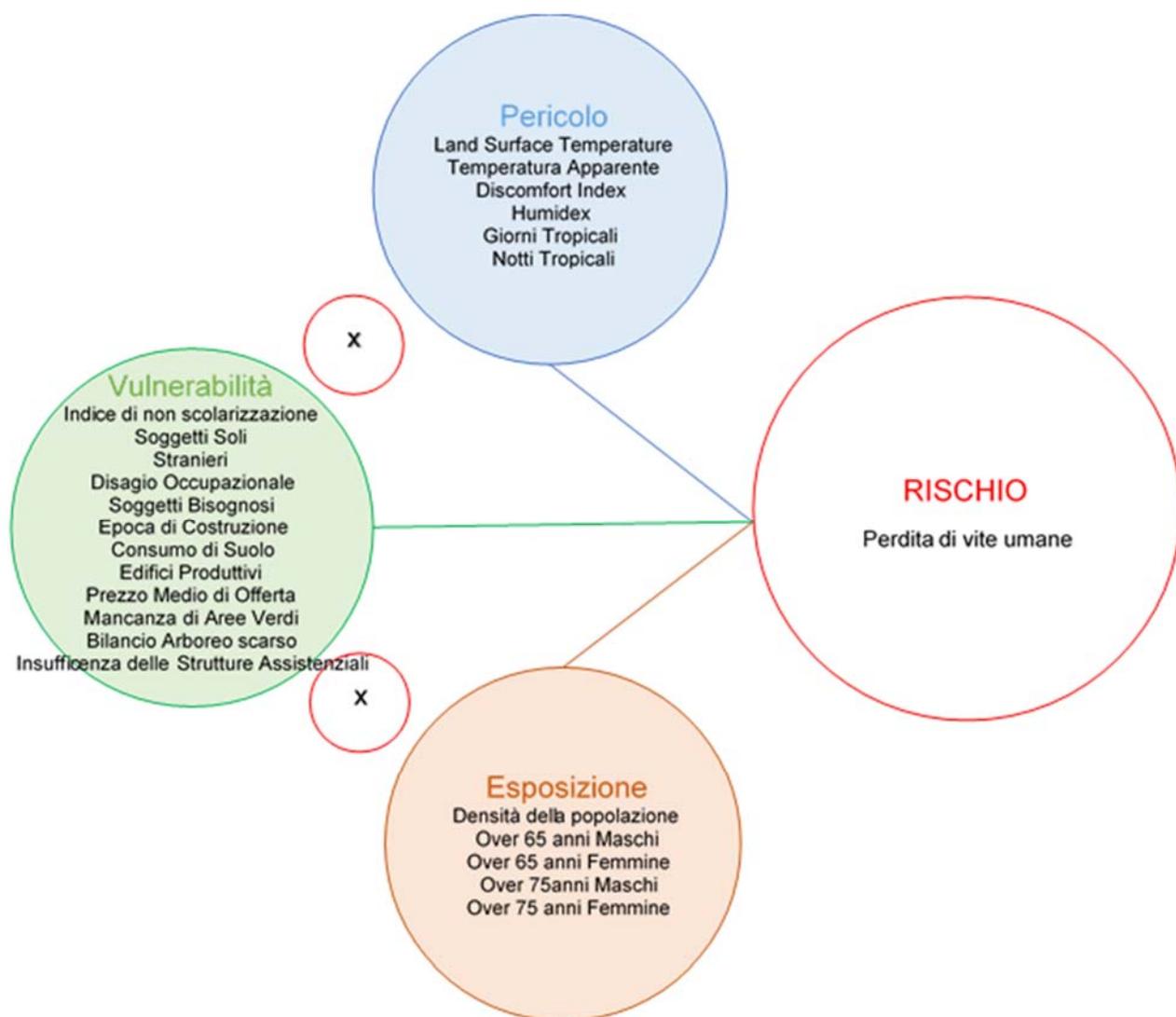


Figura 4-1: Rappresentazione schematica degli indicatori che verranno utilizzati in seguito e delle componenti del rischio [produzione propria].



4.2. IL PROCESSO DI APPLICAZIONE DEGLI INDICATORI

4.2.1. LE BASI UTILIZZATE PER LO STUDIO

4.2.1.1. Sezioni di censimento, Circoscrizioni e Microsezioni immobiliari

L'elaborazione degli indicatori necessita di una base sulla quale applicare i valori. In questo caso si hanno tre basi su cui si è lavorato a seconda della disponibilità dei dati. Tali basi sono: le sezioni di censimento, le circoscrizioni e le microsezioni immobiliari.



Figura 4-2: Immagine rappresentante le sezioni di censimento di Torino, base per le successive elaborazioni dell'analisi del rischio [produzione propria su Qgis].

Il processo di applicazione della stima del rischio al caso di Torino comincia, quindi, con il caricamento dello shapefile contenente le sezioni di censimento piemontesi, siccome i dati ISTAT si appoggeranno sul reticolo censuario (fig. 4-2). Le sezioni di censimento costituiscono, infatti, l'unità territoriale minima di rilevazione dei dati socio-economici, corrispondente ad un isolato o a parte di esso. Da esse si andranno ad estrarre solo quelle della Città di Torino. Per ottenere le sole sezioni della città è stato,



dunque, necessario selezionare il campo PRO-COM che corrisponde ad ogni comune e quello di Torino ha valore 1272. Salvati solo i selezionati, si avranno comunque tutti campi originali, necessari per unirli poi con gli indicatori, estratti anch'essi dal censimento. Una volta, infatti, che si assocerà il file degli indicatori con lo shape delle sezioni, i campi e le righe dovranno corrispondere altrimenti il lavoro darà risultati errati.

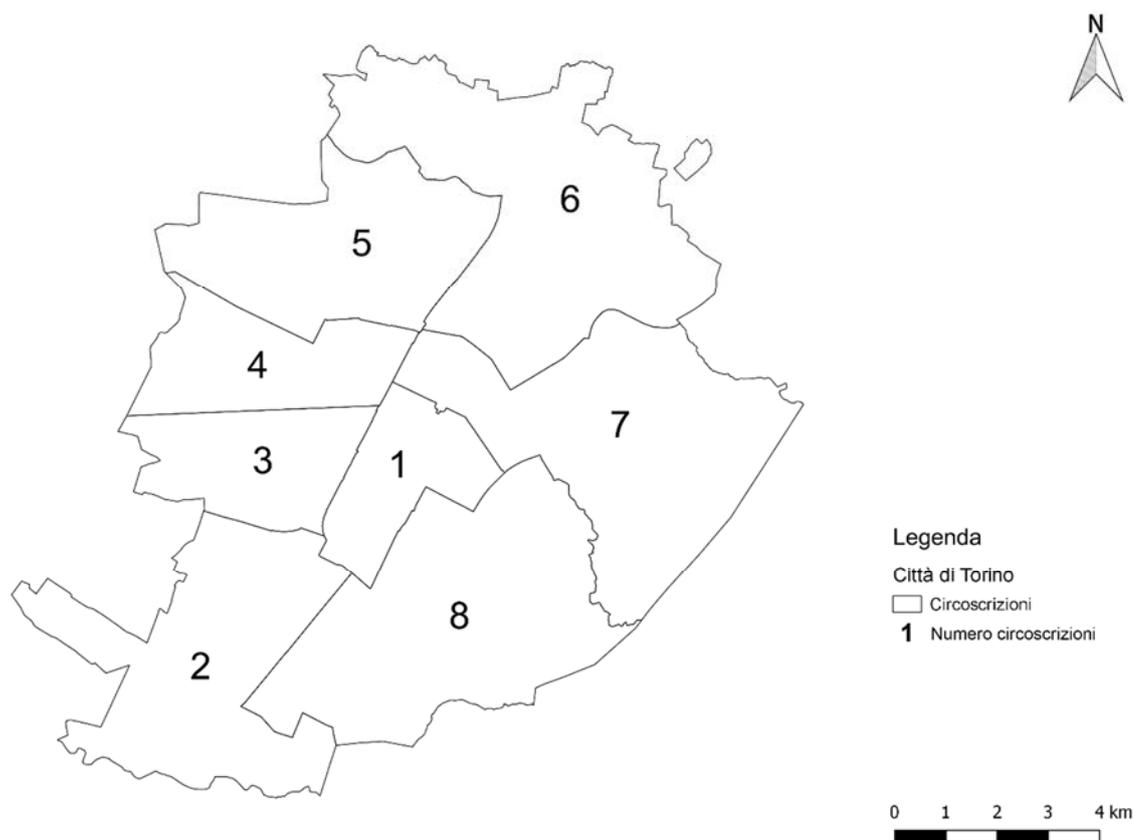


Figura 4-3: Immagine raffigurante la suddivisione delle circoscrizioni della città di Torino e il corrispettivo numero [produzione propria su Qgis].

La seconda base utilizzata corrisponde alle circoscrizioni. Si andrà, quindi, a caricare su Qgis lo shapefile delle otto circoscrizioni della città (diventate otto dalle precedenti dieci dal 1 gennaio del 2016, secondo il Regolamento del Decentramento n° 374) e ottenuto dal Geoportale del comune di Torino. Molti indicatori sono, infatti, disponibili solo a livello delle macro ripartizioni.

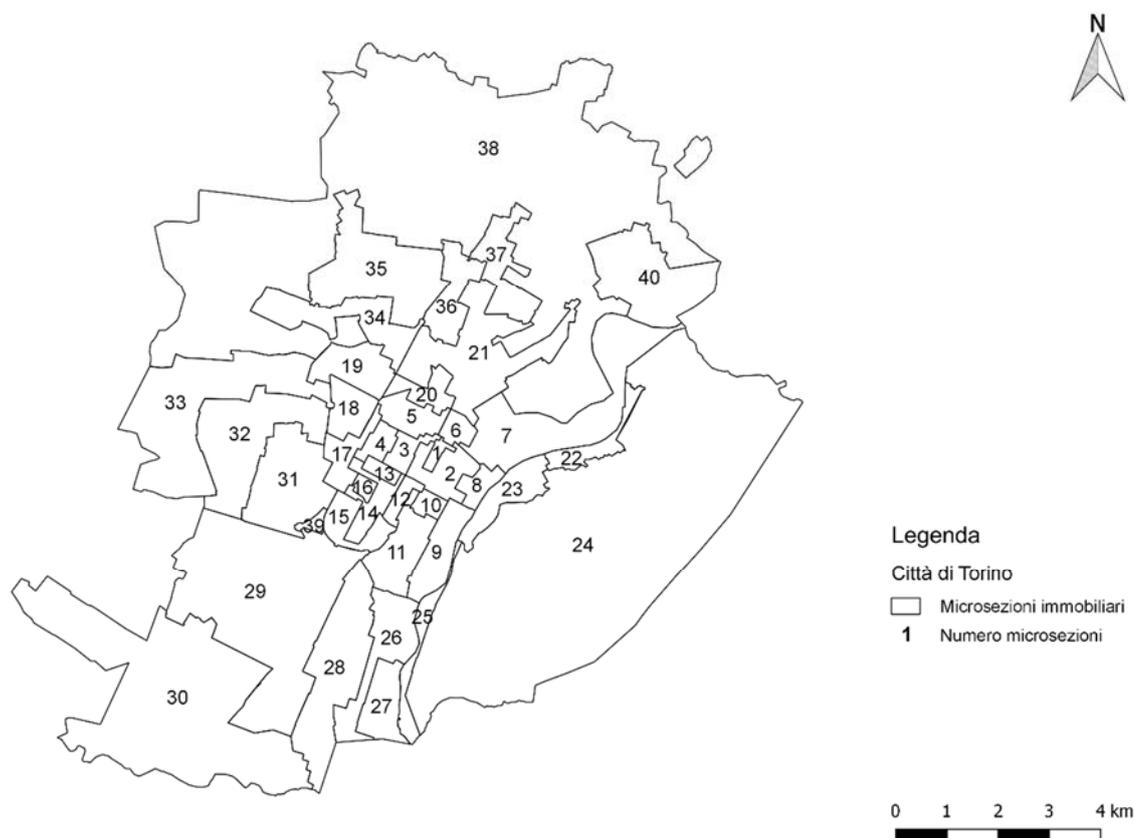


Figura 4-4: Immagine raffigurante le microsezioni censuarie immobiliari della città di Torino e il relativo numero associato [produzione propria su Qgis].

La terza base utilizzata prevede, invece, l'utilizzo delle microsezioni immobiliari, ottenute dall'OICT (Osservatorio Immobiliare della Città di Torino). Quest'ultimo, in collaborazione con il Politecnico di Torino e in particolare il Dipartimento Architettura e Design, ha suddiviso il territorio della città in 40 microzone catastali. Le zone ad oggi visibili sono quelle che nel 1999 furono approvate dal Consiglio Comunale. Ogni microzona è definita come "una porzione del territorio comunale che – individuata catastalmente da uno o più fogli di mappa – deve essere omogenea sul piano urbanistico e nel contempo configurarsi come vero e proprio segmento del mercato immobiliare" (http://www.oict.polito.it/microzone_e_valori/cosa_sono_le_microzone). La definizione pone inoltre come limite delle microsezioni che al loro interno i valori medi di offerta non siano superiori al 20% del prezzo e al massimo al 30% in casi particolari come parti di città contigue e omogenee.



L'OICT associa, quindi, per tutte le microzone un prezzo massimo, minimo e medio di offerta, suddividendo i valori per il segmento residenziale usato e per quello ristrutturato o nuovo. È stato, inoltre, messo a disposizione un geoportale dal quale è possibile reperire i valori per ogni microsezione della città.

4.2.1.2. GRID

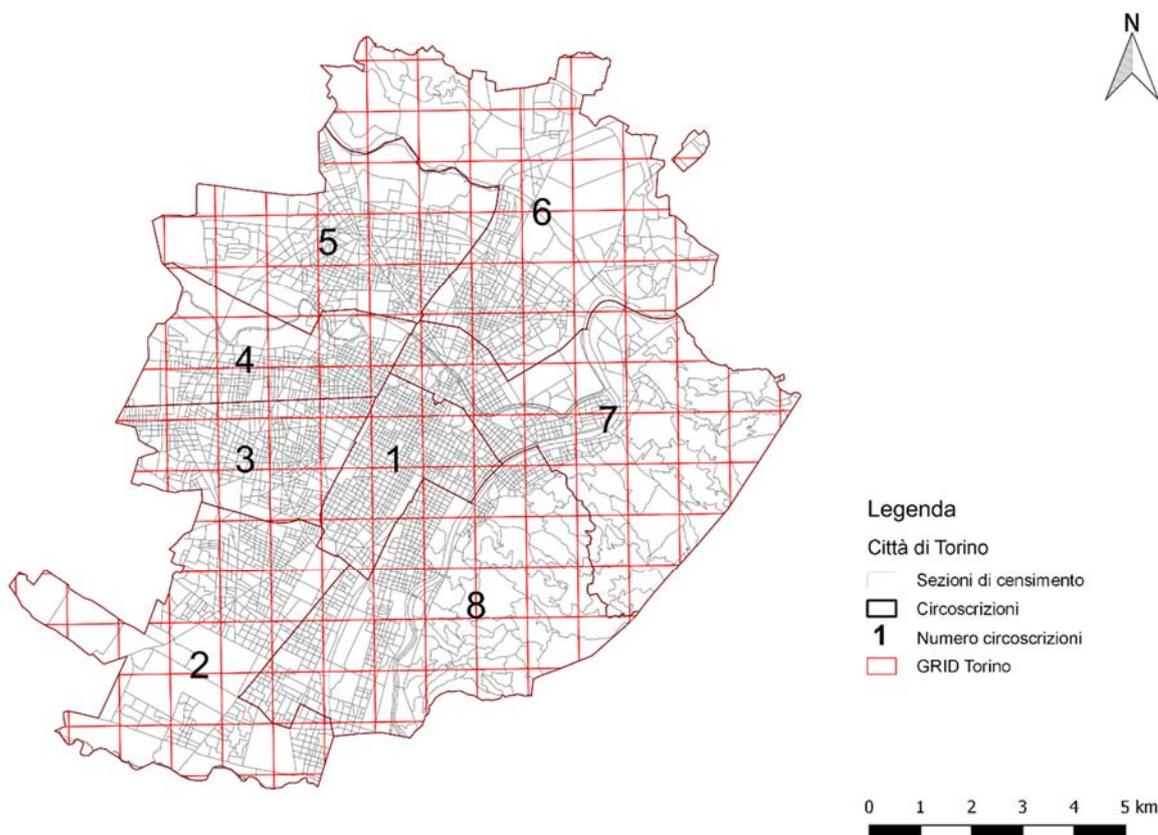


Figura 4-5: Rappresentazione della GRID, scaricata dalla AAE e ritagliata sulla città di Torino
[produzione propria].

Una volta che i dati sono stati elaborati sulle sezioni di censimento oppure sulle circoscrizioni o ancora sulle microsezioni immobiliari, è utile spalmare i dati su una base in grado di rappresentare i valori, tutti attraverso la stessa suddivisione e la stessa unità spaziale. Per effettuare tale raffronto si è reso indispensabile scaricare dall'European Environmental Agency (EEA) la griglia di un 1 km x 1 km, denominata GRID. Questa deriva dal lavoro svolto nel 2003 dall'agenzia, nel primo workshop europeo sulle "Reference Grids" e in seguito sui sistemi geografici a griglia prodotti



dalla Direttiva INSPIRE (Infrastructure for spatial information in Europe). Sul sito sono disponibili le griglie per ogni paese europeo ed è quindi necessario scaricare il dato "Italy_shapefile" che contiene tre differenti misure spaziali, ovvero 1, 10 e 100 km, tra i quali si sceglierà appunto il vettore da un 1 km. Basterà ora ritagliare su Qgis la GRID per la città di Torino, ottenendo la base utile per il successivo confronto.

Incrociando la griglia con le precedenti basi e normalizzando**** i valori ottenuti dalle elaborazioni degli indicatori è possibile così comparare ciascun dato ed è possibile compiere, inoltre, operazioni con essi, avendo ora la medesima unità di misura.

**** Per normalizzazione si intende rendere confrontabili i dati tra loro. Il calcolo per la normalizzazione si basa, infatti, sul quoziente di ogni valore presente nella tabella attributi corrispondente ad un determinato indicatore attraverso la formula: $\frac{X-X_{min}}{X_{max}-X_{min}}$ dove

X= indicatore

Xmin = il valore minimo dell'indicatore

Xmax = il valore maggiore dell'indicatore

Se questa operazione viene ripetuta per ogni indicatore in considerazione, i dati risultanti saranno compresi tra 0 e 1 e potranno essere facilmente confrontabili e usufruibili per elaborazioni ed operazioni tra di essi.



4.2.2. GLI INDICATORI DEL PERICOLO E LA LORO APPLICAZIONE

Il pericolo è definito come la probabilità che un evento dannoso di una certa intensità, in questo caso le ondate di calore, si verifichi sull'area assegnata, cioè la città di Torino, nel corso di un certo periodo di tempo, ovvero l'estate del 2015. Per questo motivo gli indicatori adatti alla composizione del pericolo sono quelli che identificano le ondate di calore e principalmente sono costituiti da indici termici. Essi risultano in grado di mostrare dove in generale le temperature si presentano elevate, come avviene nella mappatura della Land Surface Temperature, indicante le temperature istantanee registrate dal satellite. Non devono essere considerate, però, solo le temperature in sé, ma anche quelle derivanti da determinate condizioni di umidità e vento che incidono sulla percezione delle temperature. Valori elevati indicano, infatti, una situazione climatica sgradevole ma soprattutto una condizione difficilmente sopportabile da parte della popolazione. La scelta degli indicatori da utilizzare per definire il pericolo è ricaduta anche sugli indici biometeorologici quali la Temperatura Apparente, il Discomfort Index e l'Humidex, considerati dall'Arpa nei dossier sulla valutazione della mortalità estiva e del clima del 2015 e dal rapporto dell'Ispra con focus sulle città e sui cambiamenti climatici, pubblicato nel 2014. Questi indicatori vengono definiti biometeorologici, poiché valutano matematicamente le condizioni fisiologiche dell'essere umano ("bio"), causate da particolari condizioni meteorologiche ("meteorologici"). È molto importante, infine, considerare la ripetizione di temperature estreme poiché maggiore è il numero di giorni in cui i valori superano una certa soglia, maggiore è la possibilità di conseguenze negative sulla popolazione. Per questo motivo si andranno ad esaminare i Giorni Tropicali e le Notti Tropicali.

Gli indicatori utilizzati in totale sono quindi sei. Ad ogni indicatore è assegnato un Id con il quale verrà riconosciuto per l'elaborazione e la mappatura, l'unità di misura, le caratteristiche principali, la dimensione e il metodo utilizzati per il calcolo.



Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Pericolo	Land Surface Temperature	P1	°C	temperatura istantanea	fisica	quantitativo
	Temperatura Apparente	P2	°C	indice biometeorologico	fisica	quantitativo
	Discomfort Index	P3	°C	indice biometeorologico	fisica	quantitativo
	Humidex	P4	°C	indice biometeorologico	fisica	quantitativo
	Giorni Tropicali	P5	N°	temperatura superiore ai 35°C	fisica	quantitativo
	Notti tropicali	P6	N°	temperatura superiore ai 20°C	fisica	quantitativo

Tabella 4-1: Grafico rappresentante gli indicatori per calcolare la componente del Pericolo [produzione propria].

Il processo di applicazione degli indicatori per calcolare il pericolo prevede alcuni step obbligatori, come il calcolo degli indicatori biometeorologici e la trasformazione dei valori mediante la ricampionatura sulla GRID. Su di essa saranno rappresentati i dati che verranno normalizzati. Questo ultimo passaggio permetterà la confrontabilità tra tutti gli indicatori e la loro elaborazione per la stima della componente del pericolo.



Figura 4-6: Rappresentazione schematica del procedimento per realizzare la classificazione del pericolo attraverso l'elaborazione degli indicatori [produzione propria].



4.2.2.1. Land Surface Temperature

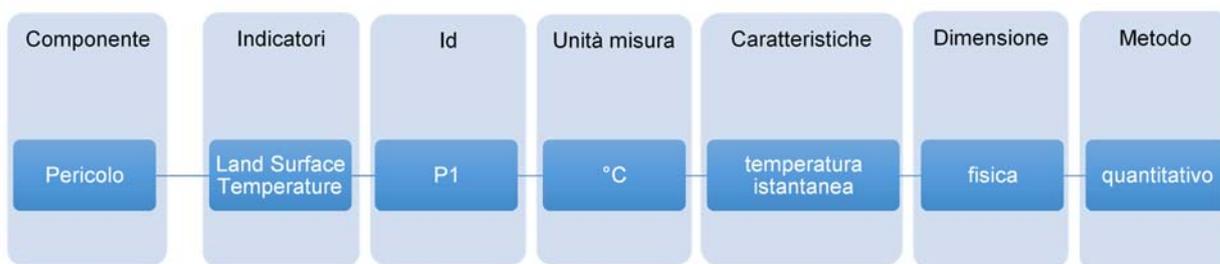


Tabella 4-2: Primo indicatore che andrà a comporre il pericolo, la Land Surface Temperature [produzione propria].

L'immagine della Land Surface Temperature utilizzata per l'elaborazione georeferenziata su Qgis, è costituita da un file elaborato in precedenza per l'evoluzione storica delle temperature dal 2000 al 2015 (cap.2), che mostra su ogni pixel la temperatura istantanea. Tra tutte le date utilizzate si è scelto un giorno in cui le temperature sono significativamente alte e rappresentative del periodo estivo, ovvero il 28 giugno del 2015. Esso raffigura, infatti, il comportamento climatico delle temperature estreme tipiche dell'estate 2015, fungendo da perfetta base per studiare le aree urbane torinesi e dove il rischio risulta elevato. L'individuazione di tale immagine satellitare è stata effettuata inizialmente osservando le immagini nel complesso, soffermandosi su quelle con i confini più definiti e colori più decisi. Le aree più calde presentano, infatti, un colore rosso acceso. Una volta eliminate le immagini che si differenziavano troppo dal comportamento comune, il ragionamento si è spostato sulle isoterme, sulle quali sono evidenziate le temperature. In seguito si sono scartate le figure che dimostravano, nelle aree più rosse, valori termici inferiori ai 38 °C. Le conclusioni generali orientano la scelta verso un'immagine che presenti alcune peculiarità: quattro zone molto calde (rosse) in Torino, nello specifico due a sud, una a ovest e infine una a nord, con temperature superiori ai 38°C; mentre delle aree più fredde (azzurre) sui contorni dell'area urbana, dove predomina la campagna. Dalle analisi comparate la figura migliore è stata, perciò, riscontrata nel giorno del 28 giugno 2015, che attesta tutte le caratteristiche ricercate.



P1 – Land Surface Temperature

Per la rappresentazione l'immagine satellitare è stata semplicemente classificata in base ai valori di temperatura associati ad ogni pixel del file. Per comprendere come si distribuiscono le temperature sul territorio è stato sovrapposto il file delle sezioni di censimento di Torino.

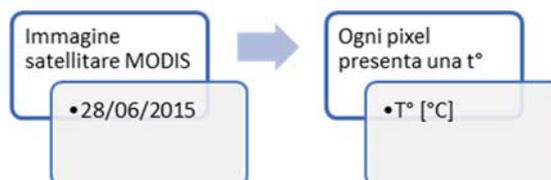


Figura 4-7: Rappresentazione del procedimento per la mappatura del Land Surface Temperature [produzione propria].

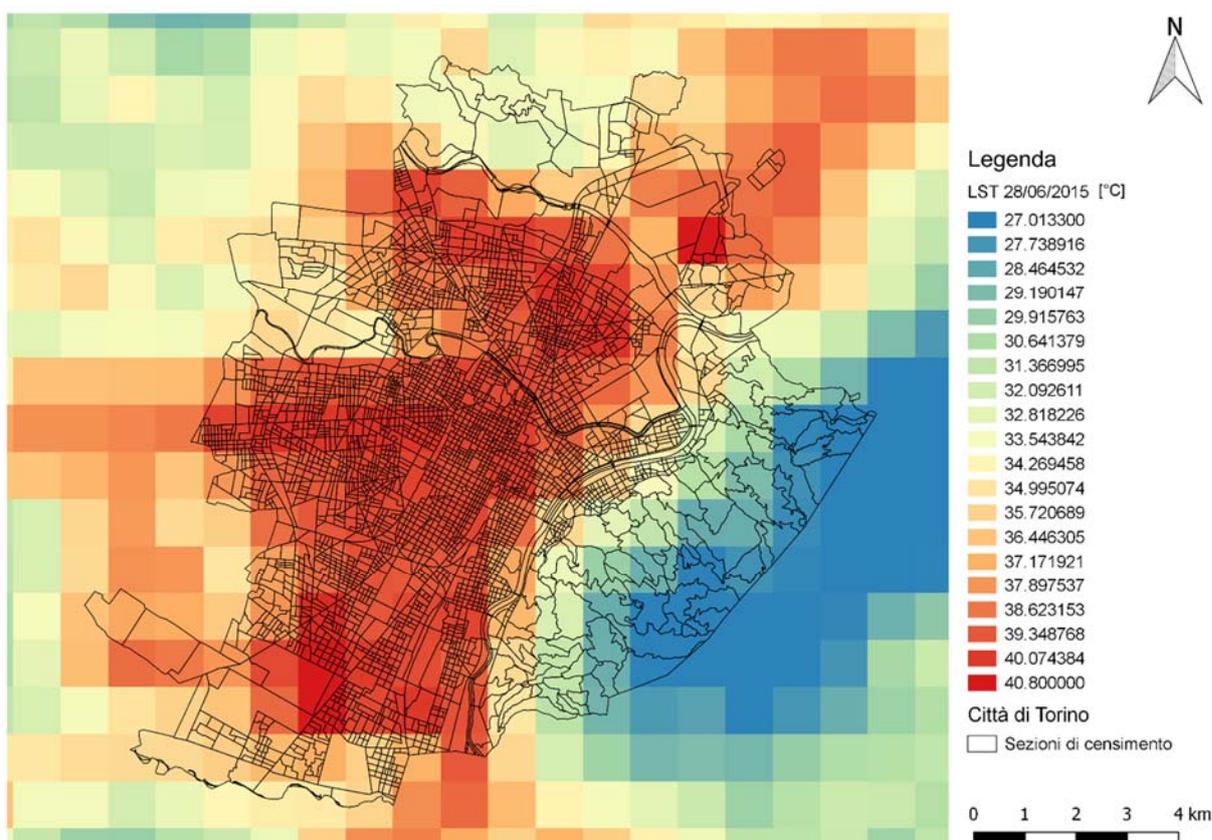


Figura 4-8: Immagine della Land Surface Temperature indicante le temperature del giorno significativo individuato, ovvero il 28/06/2015 [produzione propria su].



P1 – Land Surface Temperature Normalizzato su GRID

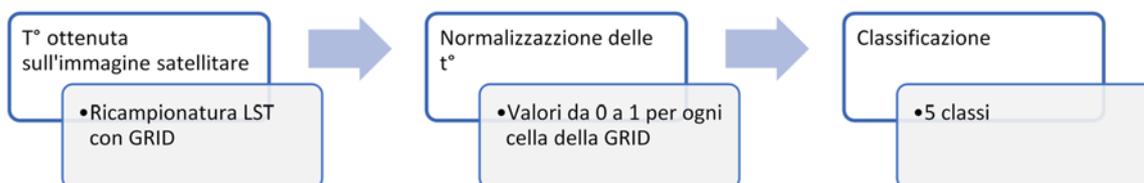


Figura 4-9: Procedimento utilizzato per mappare i valori normalizzati della Land Surface Temperature e classificarli [produzione propria].

Per poter adattare alla griglia le temperature istantanee registrate dal satellite e riportate per ogni pixel sull'immagine satellitare, è stato necessario utilizzare uno strumento di processing, integrato in Qgis. Tale strumento, denominato *r.resample.interpolation*, permette di ricampionare le temperature espresse dalla LST sulla GRID scaricata dalla EEA. Si ottiene così una griglia costituita da celle di 1 km, ognuna delle quali possiede un valore di temperatura. Si possono, ora, normalizzare i dati attraverso il *raster calculator* di Qgis, inserendo la formula:

$$X = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

dove

X = Land Surface Temperature normalizzata

X_{min} = temperatura minima fornita dal raster LST

X_{max} = temperatura massima fornita dal raster LST

Si ottengono così valori compresi tra lo 0 e 1, che si possono classificare mediante cinque classi.

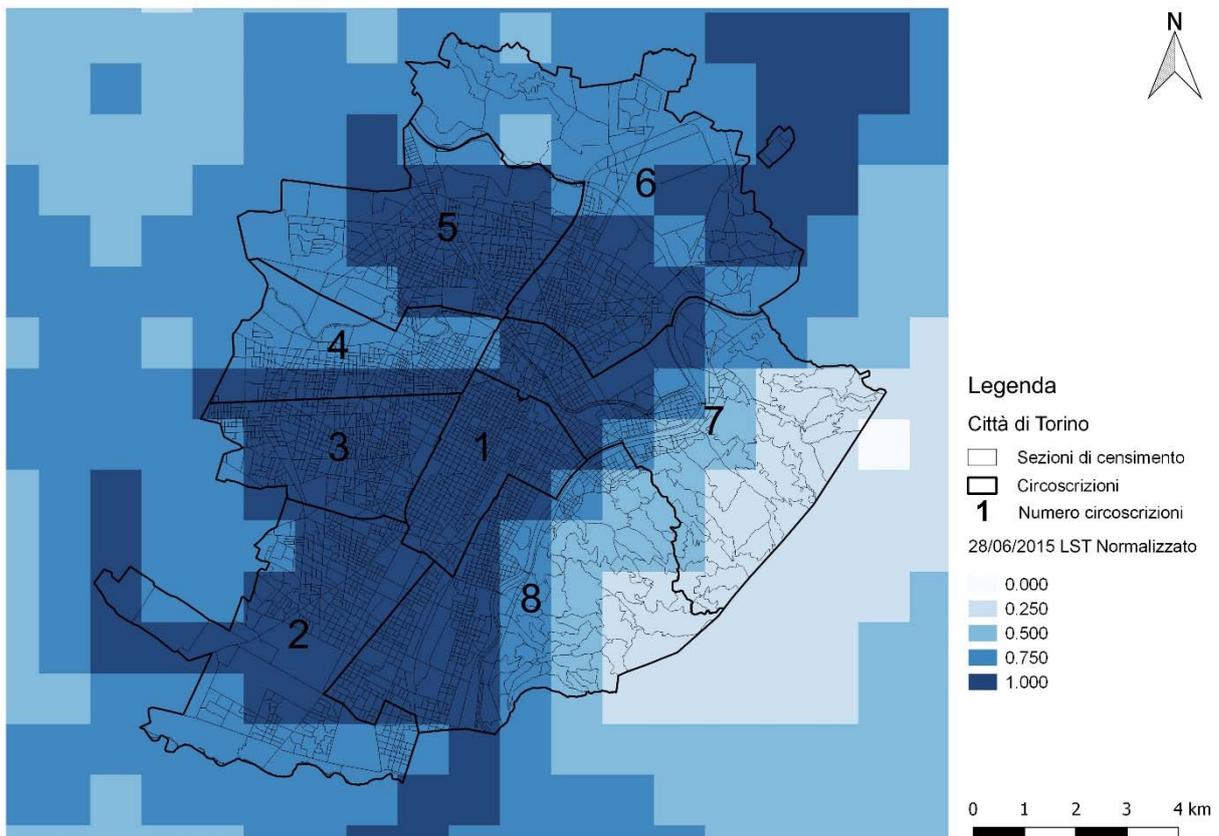


Figura 4-10: Tavola raffigurante i valori della Land Surface Temperature o P1 normalizzati sulla griglia [produzione propria su Qgis].

4.2.2.2. Temperatura apparente (AT)

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Pericolo	Temperatura Apparente	P2	°C	indice biometeorologico	fisica	quantitativo

Tabella 4-3: Secondo indicatore che andrà a comporre il pericolo, la Temperatura Apparente [produzione propria].

La Temperatura Apparente, definita un indice biometeorologico, è misurata in gradi Celsius e considera le condizioni ambientali (“meteorologico”) che condizionano e modificano la termoregolazione corporea (“bio”). Temperature molto alte unite ad



assenza di ventilazione ed elevati livelli di umidità comportano, infatti, sensazioni negative e malessere generale nell'organismo. Questo indicatore è stato elaborato da R. G. Steadman ed è stato ampiamente descritto nei suoi articoli scientifici, due del 1979 e intitolati: "The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science" e "The assessment of sultriness. Part II: Effect of wind, extra radiation. and barometric pressure on apparent temperature" ed uno del 1984 "A universal scale of apparent temperature".

Dai suoi scritti emerge come l'indice viene calcolato, ovvero con la formula:

$$AT [^{\circ}C] = -2.7+1.04T+2.0e-0.65v$$

dove

T [$^{\circ}C$] = temperatura aria

e [hPa] = tensione di vapore

v [m/s] = velocità del vento

La e o tensione di vapore viene calcolato, invece, attraverso la formula:

$$e = (6.112 * 10^{\frac{7.5*T}{237.7+T}} * U/100)$$

I risultati della formula sono misurati in gradi Celsius e vengono classificati in cinque categorie corrispondenti a reciproche classi di disagio fisiologico:

Temperatura Apparente	Condizioni di disagio
AT < 27 $^{\circ}C$	Benessere
27 \leq AT < 32	Cautela
32 \leq AT < 40	Estrema cautela
40 \leq AT < 54	Pericolo
AT \geq 54	Elevato pericolo

Tabella 4-4: Interazione tra la Temperatura Apparente e il corrispettivo disagio fisiologico. Rielaborazione della tabella Arpa [Arpa (2015), Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino].



La formula, come visto, prevede l'inserimento di alcune variabili termiche. Dati che vengono registrati giornalmente dalle stazioni metereologiche Arpa e accessibili dalla banca dati meteorologica che l'Arpa mette a disposizioni sul proprio sito. Per ogni stazione posizionata sul territorio piemontese vengono, infatti, riportati: precipitazioni, neve, temperatura minima, media e massima, umidità minima, media e massima, velocità media, raffica, durata calma e radiazione di calma, disponibili in generale per ogni giorno durante l'anno.

The screenshot shows the ARPA Piemonte - Banca dati meteorologica application. The top part displays a list of stations on the left and station details on the right. The main part of the screen shows a table of daily aggregated data for January 2017.

Data	Precipitazione dalle 9 alle	Precipitazione dalle 0 alle	Neve Fresca (cm)	Neve al Suolo (cm)	Neve Altezza Massima (cm)	Temperatura media (°C)	Temperatura massima (°C)
01/01/2017	0,2	0,2	0	0	0	1,9	3,1
02/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	2,7	2,9
03/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,5	3,5
04/01/2017	0,2	0,2	0	0	0	-0,5	0,0
05/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	-2,2	-2,1
06/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	-1,1	-0,8
07/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	0,0	-0,5
08/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	0,3	0,3
09/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,5	5,0
10/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	1,8	0,7
11/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	1,0	1,0
12/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	0,7	0,8
13/01/2017	2,0	2,0	0	0	0	1,5	2,2
14/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	4,0	4,9
15/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,0	3,1
16/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	2,4	2,7
17/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,3	3,3
18/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,0	3,0
19/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	4,0	4,0
20/01/2017	0,0	0,2	0	0	0	4,9	4,9
21/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,0	3,1
22/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	2,4	2,7
23/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,3	3,3
24/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,0	3,0
25/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	4,0	4,0
26/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,0	3,1
27/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	2,4	2,7
28/01/2017	3,4	0,2	2	2	2	3,3	3,3
29/01/2017	0,6	3,8	0	0	0	3,0	3,0
30/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	4,0	4,0
31/01/2017	0,0	0,0	0	0	0	3,0	3,0

Figura 4-11: Immagine estratta dall'applicazione Arpa per ricavare i dati giornalieri delle stazioni metereologiche sparse sul territorio [screenshot del programma].

Siccome lo studio prevede l'analisi della città di Torino, per poter avere dei dati distribuiti sul territorio si è deciso di prendere in considerazione le stazioni metereologiche localizzate nelle circoscrizioni torinesi e poco al di fuori dei confini del comune. Le stazioni prese in considerazione sono state quattordici, sebbene per alcuni indicatori si sono ridotte numericamente, poiché non tutte le stazioni fornivano i dati necessari per il 2015.



Figura 4-12: Immagine raffigurante la scelta e la ripartizione sul territorio delle stazioni meteorologiche della rete Arpa [produzione propria su Qgis].

Come già precedentemente accennato, nel caso dell'indicatore in analisi si sono dovute scartare alcune stazioni, poiché non presentavano i dati necessari per il calcolo della temperatura apparente.

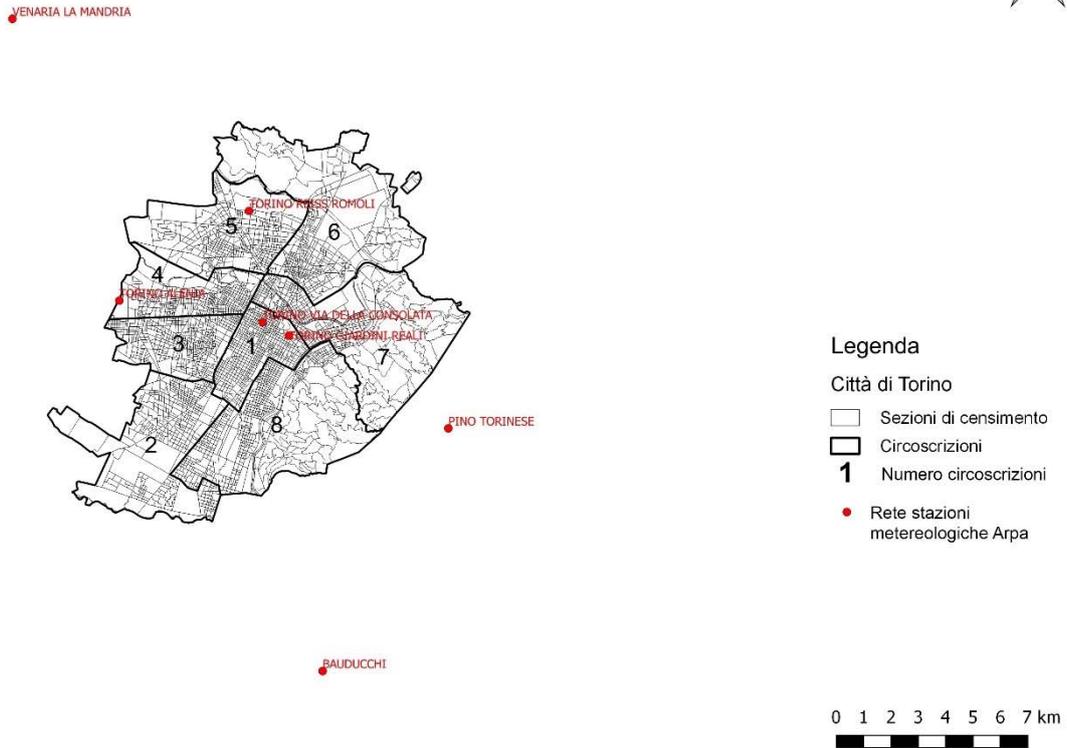


Figura 4-13: Immagine raffigurante la scelta e la ripartizione sul territorio delle stazioni metereologiche della rete Arpa per la temperatura apparente [produzione propria su Qgis].

P2 – Temperatura Apparente

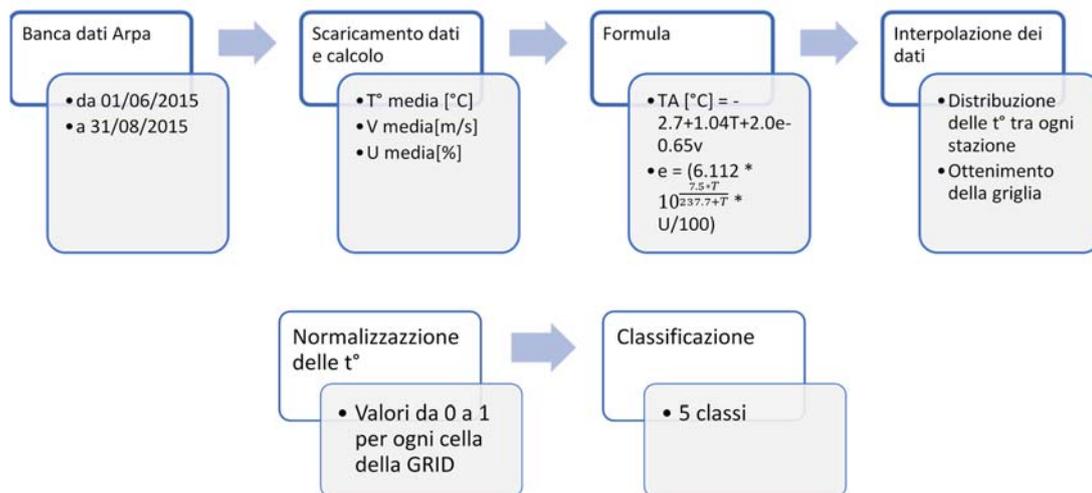


Figura 4-14: Procedimento utilizzato per realizzare la mappa della Temperatura Apparente classificata secondo cinque classi [produzione propria].



Per ogni stazione è stata scaricato dalla banca dati Arpa il file contenente le medie mensili delle variabili registrate dalle stazioni nel 2015. Si prendono i valori corrispondenti alla temperatura dell'aria media, alla velocità del vento media e all'umidità media per giugno, luglio e agosto e se ne fa la media dei tre mesi rispettivamente per le tre variabili. Queste saranno inserite nella formula per calcolare prima la tensione di vapore e poi la temperatura apparente.

In seguito i valori corrispondenti a delle temperature [°C] verranno uniti allo shapefile delle stazioni Arpa su Qgis e attraverso lo strumento di geoprocessing v.surf.idw, disponibile nel programma Grass Gis, è possibile interpolare i dati tra una stazione e l'altra, ottenendo così un raster che riporta la distribuzione graduale delle temperature sul territorio. Il programma abbina i valori tra di loro, in modo tale da risultarne la migliore combinazione ripartita sulla zona torinese. Proprio per ottenere una migliore ed efficace suddivisione delle temperature tra le aree, non si sono assunte solamente le stazioni in Torino, ma anche quelle oltre i confini comunali. Attraverso l'utilizzo di tale strumento è possibile scegliere l'estensione e la dimensione dei pixel del raster di output. Rispettivamente si sceglieranno l'estensione della Land Surface Temperature e una dimensione dei pixel pari ad 1km, in modo che la griglia del raster sia corrispondente alla GRID.

Basterà ora applicare la formula per la normalizzazione per avere dei valori tra 0 e 1 per ogni cella della griglia.

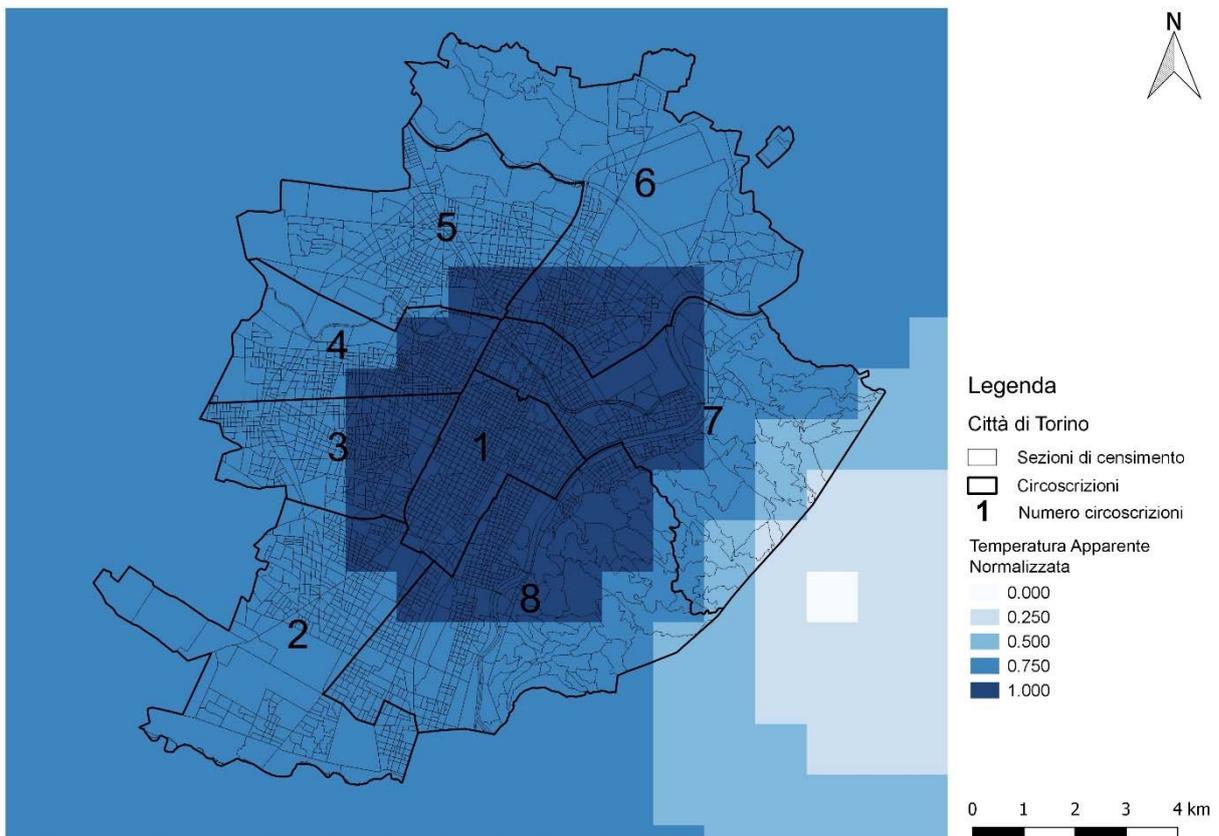


Figura 4-15: Tavola raffigurante i valori della Temperatura Apparente o P2, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.2.3. Discomfort Index (DI)

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Pericolo	Discomfort Index	P3	°C	indice biometeorologico	fisica	quantitativo

Tabella 4-5: Terzo indicatore che andrà a comporre il pericolo, il Discomfort Index [produzione propria].

Tale indice è un indice biometeorologico ed è misurato in gradi Celsius. Viene denominato anche Indice di Thom, dallo studioso che lo ha sviluppato nel 1959 ovvero E.C. Thom, all'interno dell'articolo "The discomfort index". Esso rappresenta uno degli



indici più affidabili per stimare la temperatura effettiva. Unisce, infatti, temperatura esterna, valori di umidità e movimento dell'aria. Tale indicatore funge da primo segnale per indicare stati di malessere fisico nell'individuo, dovute al caldo umido. Discomfort vuole, infatti, significare una condizione termica in cui la popolazione non si trova a suo agio, in condizioni di comfort, ma al contrario il clima rende la situazione poco sopportabile per la popolazione. La formula per calcolare tale indicatore è uguale a:

$$DI [^{\circ}C] = 0.4 (Ta+Tw)+4.8$$

dove

Ta [°C] = temperatura aria

Tw [°C] = temperatura di bulbo bagnato

Difficilmente, però, è reperibile la temperatura di bulbo bagnato, così si utilizza la formula fornita da Thom e ripresa dall'Arpa sul proprio sito, denominata Thermohygrometric Index (THI):

$$THI [^{\circ}C] = T - (0.55 - 0.0055 * UR) * (T - 14.5)$$

dove

T [°C] = temperatura dell'aria

UR [%] = umidità relativa

Anche in questo caso i risultati ottenuti dalla formula sono raggruppati, ma non in cinque categorie, bensì in sei classi di disagio. Mentre per la temperatura apparente viene segnalato lo stato di pericolo, in questo caso le categorie indicano le percentuali di individui in difficoltà, proprio perché questo indicatore segnala i valori oltre ad una soglia, per cui la popolazione percepisce disagio fisico, fino a giungere allo stato di emergenza medica.



Discomfort Index	Condizioni di disagio
$DI < 21$ °C	Benessere
$21 \leq DI < 24$	Meno del 50% della popolazione prova disagio fisico
$24 \leq DI < 27$	Oltre il 50% della popolazione prova disagio fisico
$27 \leq DI < 29$	Si ha un significativo deterioramento delle condizioni psicofisiche
$29 \leq DI < 32$	Tutti provano un forte disagio
$DI \geq 32$	Stato di emergenza medica

Tabella 4-6: Interazione tra le classi dell'indice di discomfort, classificate in temperatura e le corrispettive condizioni di disagio fisico provato dalla popolazione. Rielaborazione della tabella Arpa [Arpa (2015), Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino].

P3 – Discomfort Index

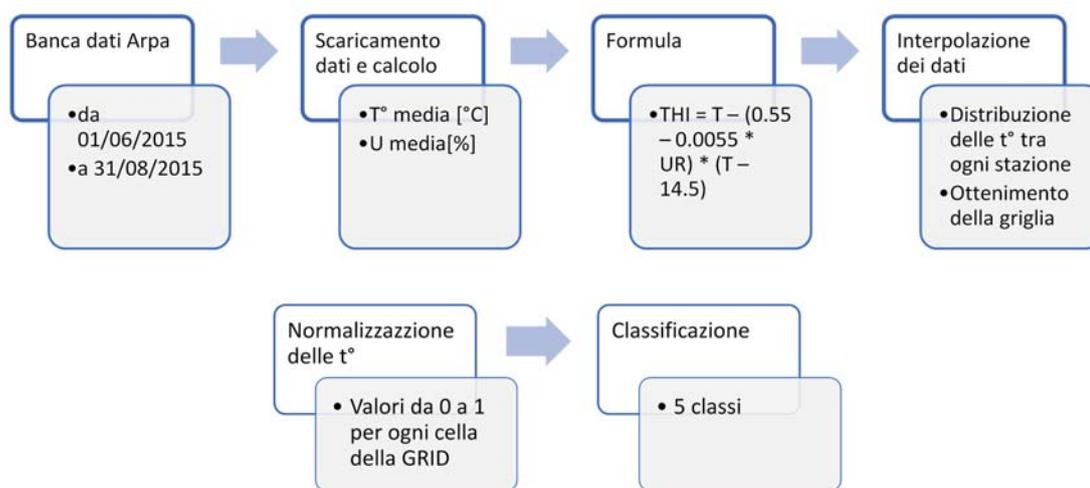


Figura 4-16: Procedimento utilizzato per realizzare la mappa del Discomfort Index, classificato in cinque classi [produzione propria].

Rispetto alla temperatura apparente le stazioni meteorologiche utilizzate per scaricare i dati mensili sono due in più. La formula del Discomfort Index prevede, infatti, l'inserimento della temperatura dell'aria media e dell'umidità media.

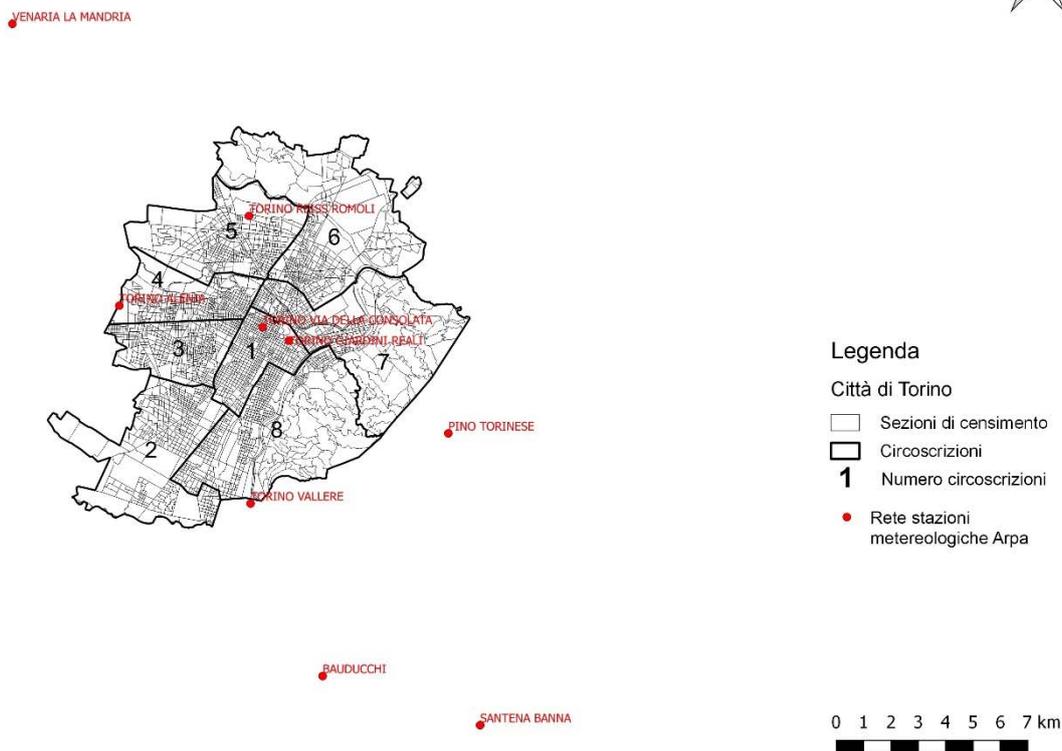


Figura 4-17: Immagine raffigurante la scelta e la ripartizione sul territorio delle stazioni meteorologiche della rete Arpa per il discomfort index [produzione propria su Qgis].

Il processo per la rappresentazione del discomfort index è identico a quello realizzato per la temperatura apparente. Dopo aver scaricato i dati mensili per la temperatura media dell'aria e dell'umidità media se ne calcolano le medie per i tre mesi considerati (giugno, luglio e agosto). Si inseriscono i valori nella formula, ottenendo delle temperature [°C]. Si uniscono poi i risultati con lo shapefile delle stazioni Arpa. Attraverso lo strumento v.surf.idw si interpolano le temperature sul territorio e in base alla GRID. Il risultato sarà una griglia costituita da celle di 1 km, dimostranti i valori del discomfort index.

Il passaggio successivo è la normalizzazione dei valori per ogni cella, usufruendo del raster calculator e inserendo il valore minimo e il massimo dell'indicatore, attraverso la formula $(X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$. I valori derivanti dal calcolo e compresi tra 0 e 1 possono essere ora classificati in cinque categorie.

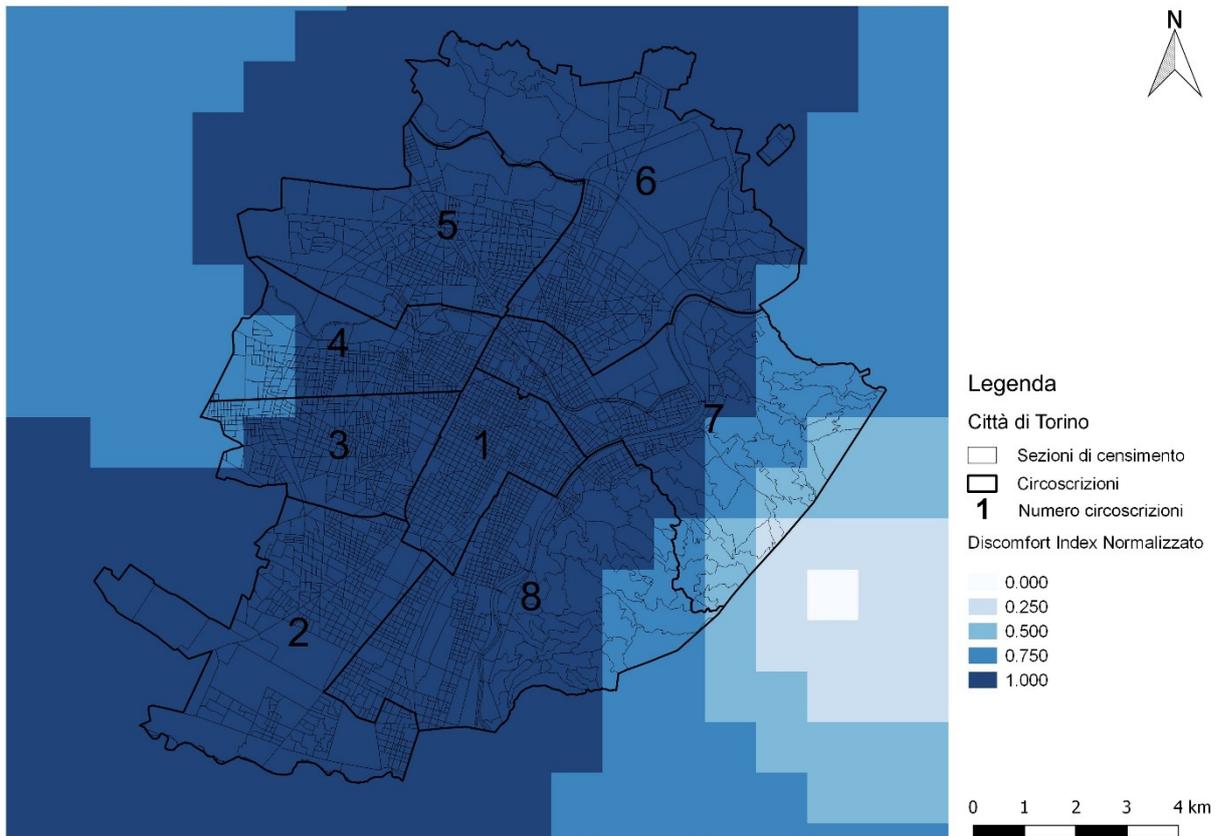


Figura 4-18: Tavola raffigurante i valori del Discomfort Index o P3, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.2.1. Humidex (H)

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Pericolo	Humidex	P4	°C	indice biometeorologico	fisica	quantitativo

Tabella 4-7: Quarto indicatore che andrà a comporre il pericolo, l'Humidex [produzione propria].

L'indicatore è un indice biometeorologico misurato in gradi Celsius. È stato elaborato da J.M. Masterton e F.A. Richardson nel 1979 ed esposto nell'articolo "Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity" e



misura il benessere fisiologico dell'individuo, relazionando la temperatura dell'aria e la tensione di vapore. Tiene conto, infatti, del disagio di ogni singolo individuo durante i giorni in cui la temperatura e l'umidità hanno valori molto alti. Viene calcolato attraverso la formula:

$$H [^{\circ}\text{C}] = T_a + (0.5555(e - 10))$$

dove

$T_a [^{\circ}\text{C}]$ = temperatura aria

e [hPa] = tensione di vapore

Come nel caso della temperatura apparente la "e" o tensione di vapore si calcola attraverso l'espressione:

$$e = (6.112 * 10^{\frac{7.5 * T}{237.7 + T}} * U/100)$$

L'indice viene classificato poi in cinque categorie di temperature che corrispondono ad altrettante classi di disagio. La tabella riporta:

Humidex	Condizioni di disagio
$H < 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Benessere
$27 \leq H < 30$	Cautela
$30 \leq H < 40$	Estrema cautela
$40 \leq H < 55$	Pericolo
$H \geq 55$	Elevato pericolo

Tabella 4-8: Interazione tra le classi di temperatura dell'Humidex e le corrispettive condizioni di disagio.

Rielaborazione della tabella Arpa [Arpa (2015), Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino].



P4 – Humidex

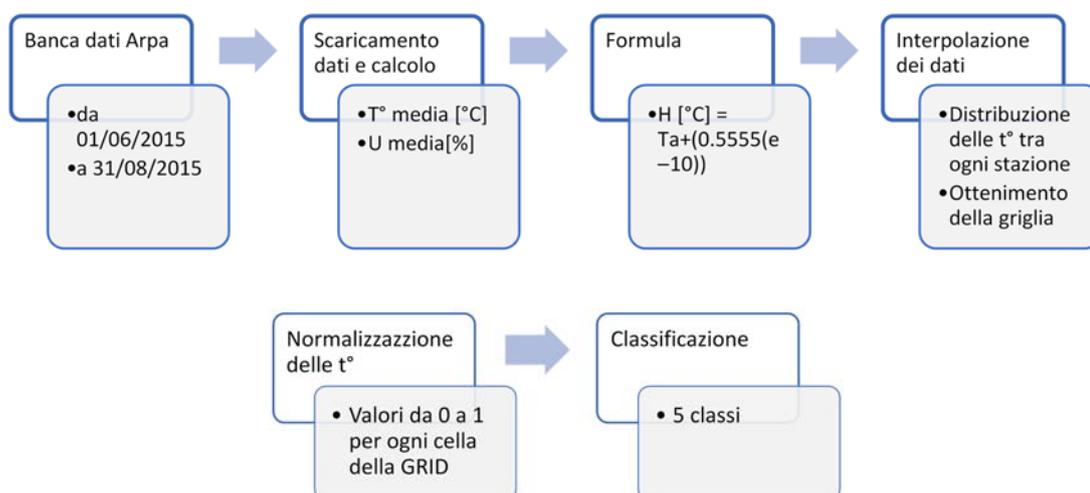


Figura 4-19: Procedimento utilizzato per realizzare la mappa dell'Humidex e classificato secondo cinque classi [produzione propria].

Le stazioni metereologiche della rete Arpa di cui si è usufruito per scaricare le variabili mensili della temperatura media dell'aria e dell'umidità media, sono le stesse utilizzate per il discomfort index.

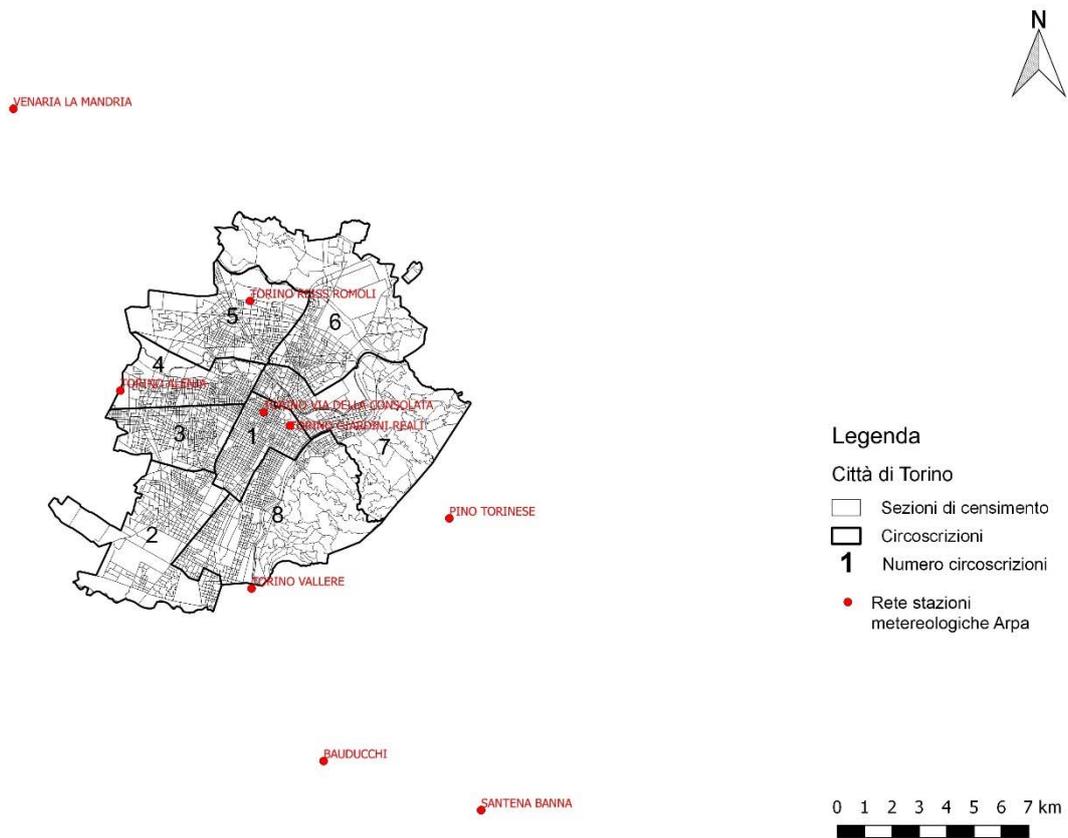


Figura 4-20: Immagine raffigurante la scelta e la ripartizione sul territorio delle stazioni metereologiche della rete Arpa per l'humidex [produzione propria su Qgis].

I dati utili per il calcolo dell'humidex corrispondono alla temperatura media dell'aria e all'umidità media per i mesi estivi di giugno, luglio e agosto. Quantificate le medie delle due variabili i tre mesi considerati, si inseriscono nella formula dell'humidex. Si caricano i risultati su Qgis e in seguito si uniscono con il vettore delle stazioni Arpa, attraverso un join. Applicando successivamente lo strumento v.surf.idw, vengono interpolati i valori dell'indicatore sul territorio, ottenendo una griglia di celle di uguale dimensione. Le temperature espresse da ogni cella devono essere, quindi, normalizzate. Il risultato della normalizzazione verrà, infine, classificato in cinque categorie.

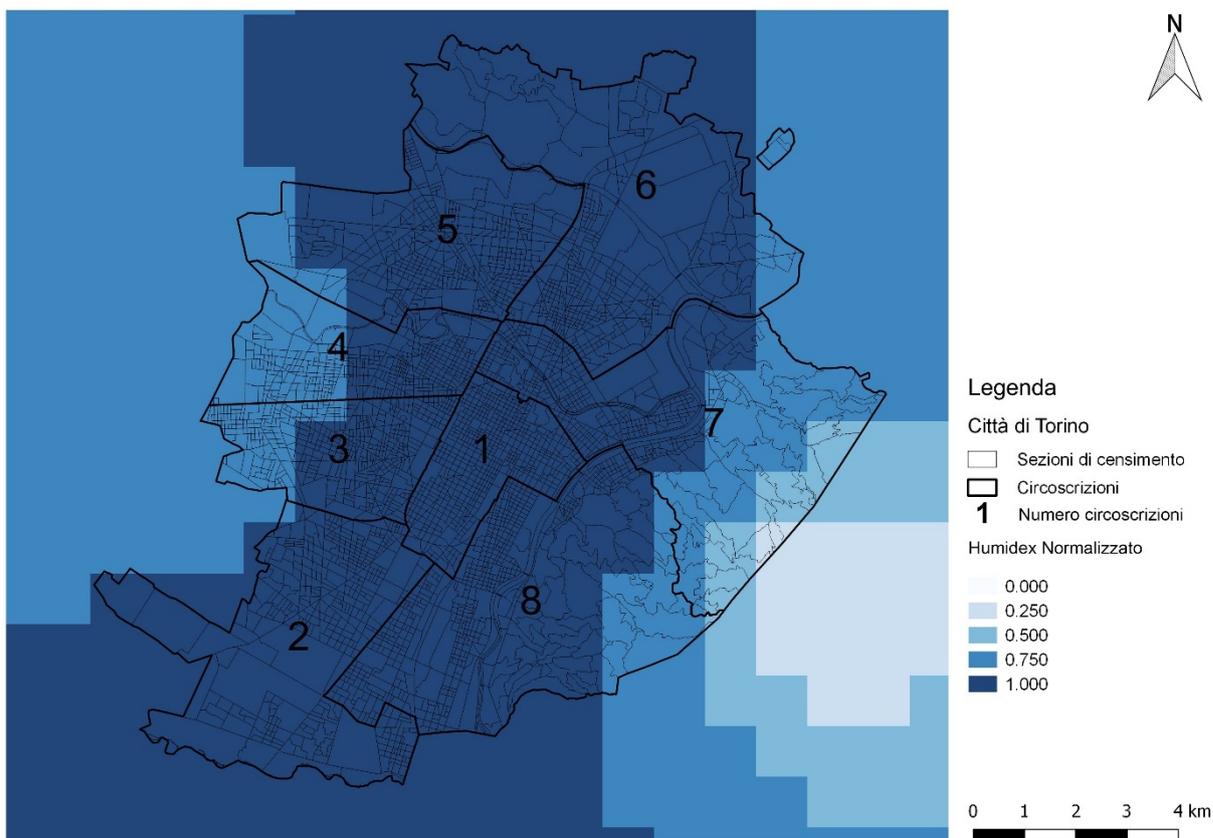


Figura 4-21: Tavola raffigurante i valori dell'Humidex o P4, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.2.2. Giorni Tropicali

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Pericolo	Giorni Tropicali	P5	N°	temperatura superiore ai 35°C	fisica	quantitativo

Tabella 4-9: Quinto indicatore che andrà a comporre il pericolo, i Giorni Tropicali [produzione propria].

L'indicatore in considerazione è rappresentato da un numero assoluto ed è stato studiato dall'Ispra (Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale). Si fonda sulla distribuzione statistica e viene considerato il numero di giorni in cui temperatura massima supera i 35° C.



P5 – Giorni tropicali

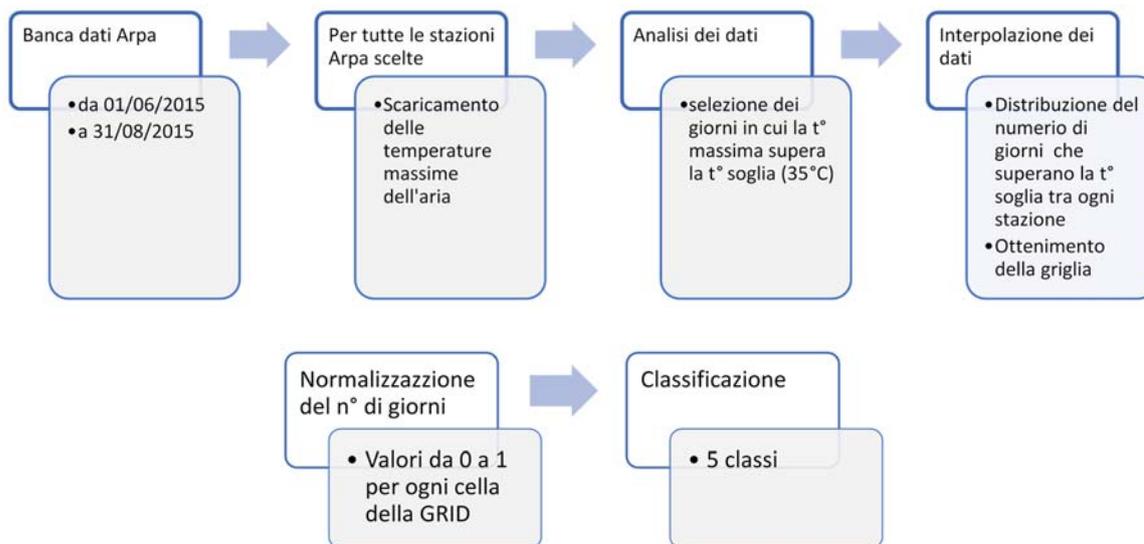


Figura 4-22: Procedimento utilizzato per realizzare la mappa dei Giorni Tropicali e classificazione [produzione propria].

La quantificazione dei giorni tropicali, ovvero i giorni in cui la temperatura massima supera i 35°C, è abbastanza semplice. Il primo step consiste nel ricopiare dall'applicazione meteorologica dell'Arpa le temperature massime per tutte le stazioni scelte (fig. 4-12, cap. 4.2.2.2) e per i 92 giorni che compongono la stagione estiva.

Per ogni stazione si andranno ad analizzare il numero di giorni che durante i mesi di giugno, luglio e agosto la temperatura supera i 35°C. Tutto ciò è stato effettuato attraverso il software Grass Gis che ha permesso di scrivere un programma in grado di selezionare i giorni in cui la temperatura supera il valore soglia predefinito e con un file binario gli assegna 1, mentre 0 viene attribuito quando la temperatura soglia non è superata. Verranno, pertanto, creati 92 vettori contenenti l'informazione binaria. Questi dati saranno da interpolare con lo strumento v.surf.idw, in modo tale da ottenere un unico file per l'intera area di studio, che conteggia i giorni in cui si verifica il fenomeno e che presenti le caratteristiche della GRID, con celle di 1 km.

Ora si possono normalizzare i valori del numero di giorni con la solita formula già utilizzata in precedenza, conseguendo dei dati racchiusi nell'intervallo tra 0 e 1.

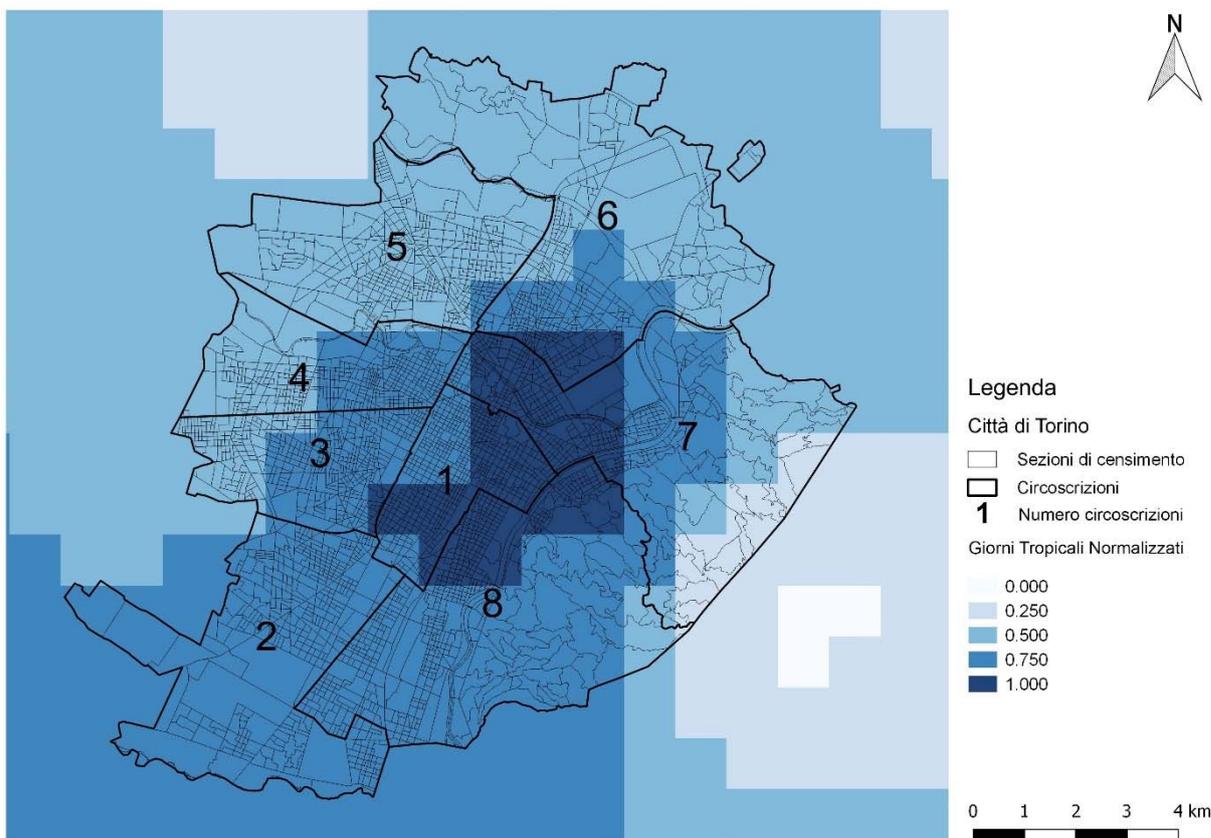


Figura 4-23: Tavola raffigurante i valori dei Giorni Tropicali o P5, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.2.3. Notti Tropicali

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Pericolo	Notti Tropicali	P6	N°	temperatura superiore ai 20°C	fisica	quantitativo

Tabella 4-10: Sesto indicatore che andrà a comporre il pericolo, le Notti Tropicali [produzione propria].

Come per i giorni tropicali, l'indicatore in questione è rappresentato da un numero. La quantificazione delle Notti Tropicali secondo l'Ispra avviene determinando il numero di giorni che mostrano una temperatura minima maggiore di 20°C.



P6 – Notti Tropicali

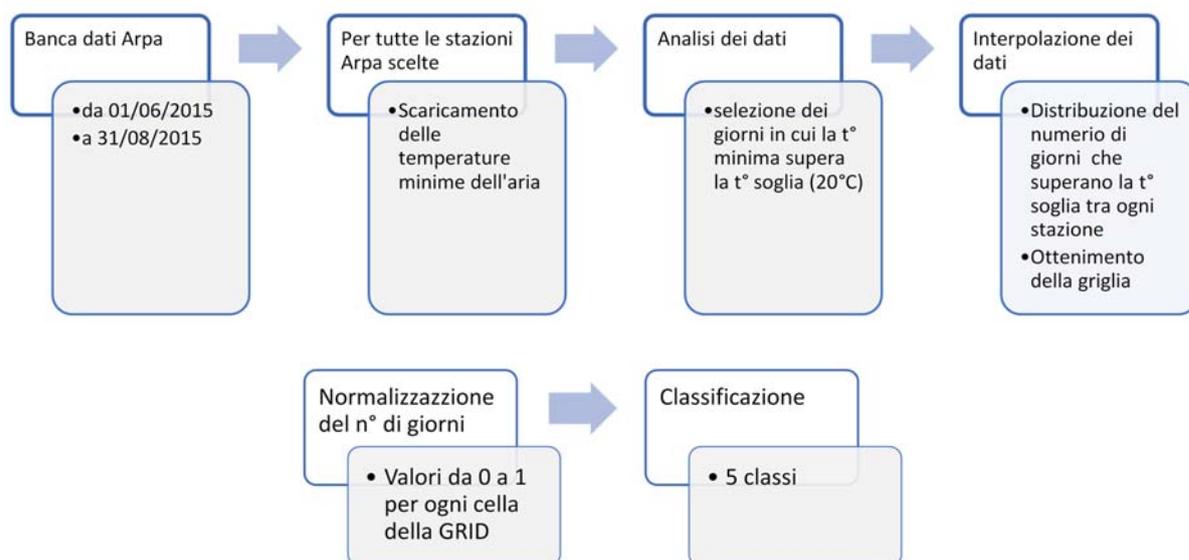


Figura 4-24: Procedimento utilizzato per realizzare la mappa delle Notti Tropicali e classificazione [produzione propria].

Le Notti Tropicali vengono individuate conteggiando il numero di giorni i cui le temperature minime superano i 20°C, scaricando dalla banca dati dell'Arpa le temperature minime dell'aria per i 92 giorni, compresi tra giugno e agosto, e per tutte le stazioni metereologiche Arpa scelte in precedenza (fig. 4-12, cap. 4.2.2.2). Come svolto per l'indicatore dei giorni tropicali, il procedimento prevede la sistemazione dei dati su una tabella in formato .csv. Tramite il programma Grass Gis si ricercano i giorni in cui la temperatura minima supera la soglia, associando un file binario. Una volta determinato il numero di giorni si interpolano i valori per ogni stazione metereologica, ottenendo così un unico file costituito dal valore determinato e da celle di 1 km.

Basterà ora normalizzare i dati, definendo un range compreso tra 0 e 1.

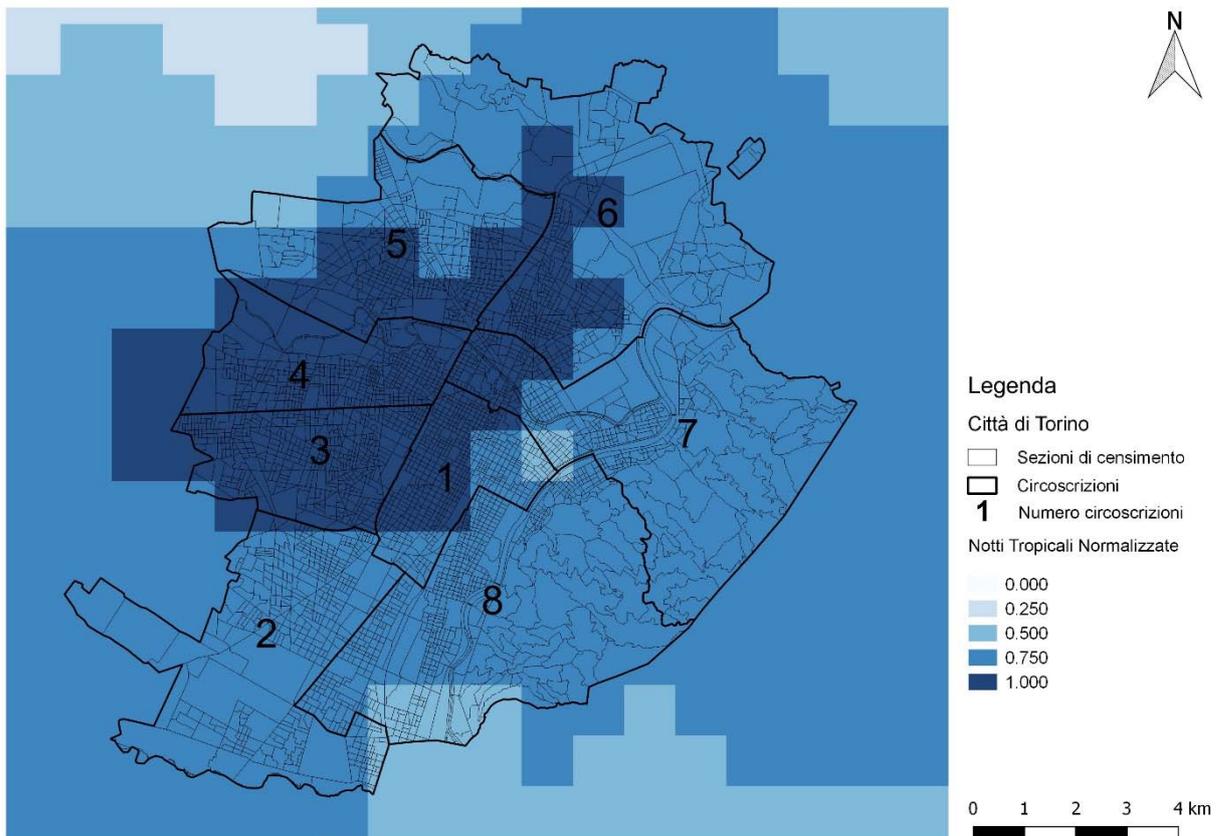


Figura 4-25: Tavola raffigurante i valori delle Notti Tropicali o P6, normalizzati su GRID
[produzione propria su Qgis].

Il risultato documenta una ripartizione dei valori sul territorio differente da quanto si era visto per i giorni tropicali, dovuto al tipo di dato preso in considerazione. Qui si parla, infatti, di temperature minime maggiori alla soglia stimata a 20°C. Ciò dimostra come valori alti anche di notte o durante giornate piovose siano in grado di peggiorare le condizioni pregresse di caldo, in quanto non diminuendo le temperature il calore viene trattenuto, peggiorando poi la situazione climatica, quando sopraggiungono le ondate di calore. Le circoscrizioni che si dimostrano più in pericolo sono quelle a nord.



4.2.3. STIMA DEL PERICOLO



Figura 4-26: Processo schematico della stima del pericolo e la successiva classificazione [produzione propria].

La stima della componente del pericolo prevede un'elaborazione composta da quattro passaggi principali, ovvero:

- La realizzazione dell'Analisi delle Componenti Principali o PCA, applicata agli stessi indicatori e lettura del file statistiche prodotte;
- il calcolo delle componenti principali attraverso la moltiplicazione degli indicatori per i coefficienti della matrice di covarianza prodotta dalle statistiche della PCA;
- la somma delle componenti principali moltiplicate per i pesi;
- la classificazione, infine, in cinque classi.

Prima di illustrare la procedura nello specifico, merita una breve spiegazione la definizione e il chiarimento della tecnica citata sopra, ovvero la PCA, acronimo inglese che sta per Analisi delle Componenti Principali. Essa viene utilizzata in caso di elaborazioni che prevedono l'utilizzo di numerosi dati, rappresentanti le principali componenti del fenomeno studiato, con lo scopo di ottenere un risultato significativo. Quando si trattano molte variabili è difficile, infatti, capire quali di queste siano influenti sul risultato senza ripetersi tra loro, poiché alcune saranno altamente correlate e simili. La PCA è, infatti, una procedura utilizzata per semplificare i dati, eliminando la ridondanza di informazioni delle variabili uguali, sostituendole con variabili non correlate tra loro ma comunque legate linearmente con i dati di partenza. Tali informazioni risulteranno, inoltre, ordinate rispetto alla percentuale di variabilità costituente i dati originali. Ci si avvale, perciò, di tale tecnica nell'ambito della statistica multivariata, che appartiene all'analisi fattoriale. La PCA viene anche definita come un modello composto "da una proiezione ortogonale dallo spazio originale allo spazio



delle componenti principali i cui autovalori associati siano quelli di valore maggiore” (Martinelli e Di Natale, 2003).

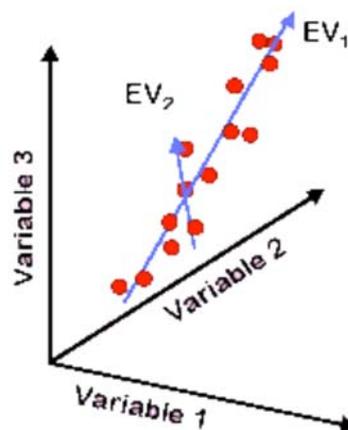


Figura 4-27: Esempio della proiezione ortogonale della PCA [Martinelli E. e Di Natale E. (2003), “Lezione 5: Analisi delle Componenti Principali”, Corso di Introduzione al trattamento Statistico, Università degli studi TorVergata, Roma].

In altre parole, quindi, la metodologia prevede la spiegazione del fenomeno di studio attraverso l'analisi delle dimensioni non correlate e ordinate in base alla loro importanza nello studio. Questo permette di ridurre il numero di variabili significative, scartando i dati il cui contributo alla spiegazione della variabilità si presenta trascurabile e consente di comprendere l'oggetto di studio tramite l'interpretazione delle componenti principali che non sono state scartate (La Rocca L., 2005). Federico Marini nelle sue dispense descrive l'analisi delle componenti principali come lo studio delle relazioni tra le variabili e delle distanze tra esse. Lo spazio è usato per definire le similarità e le differenze tra i dati. Lo scopo della PCA è, quindi, la descrizione tra le distanze fra le variabili. Le distanze maggiori costituiscono le componenti meno significative, indicanti un “rumore” maggiore, che andrebbe a disturbare il risultato.



4.2.3.1. Pesatura degli indicatori

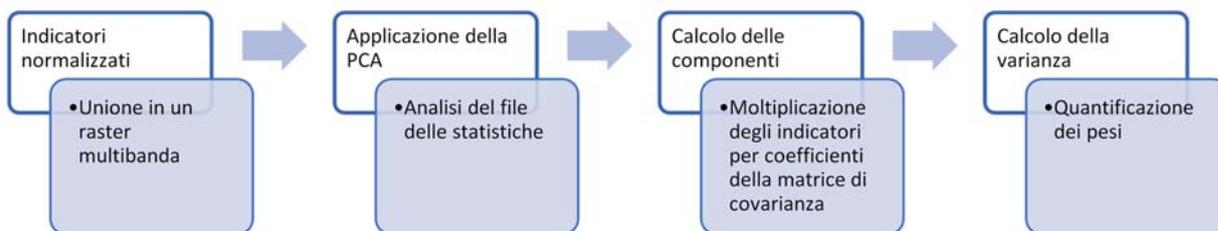


Figura 4-28: Processo schematico della pesatura degli indicatori del pericolo [produzione propria].

La tecnica della PCA prevede di operare su un raster multibanda, per poter estrarre le statistiche delle componenti principali. È necessario, quindi, svolgere alcuni passaggi. Si deve realizzare l'unione dei raster, mediante la funzione omonima a disposizione nella sezione miscelanea di Qgis, optando durante la realizzazione di quest'ultima, a mantenere separate le bande a cui corrispondono gli indicatori.

A questo punto, sempre su Qgis, è possibile applicare la tecnica dell'Analisi delle Componenti Principali, grazie allo strumento PCA disponibile nei plugins. Si inseriscono semplicemente nella finestra di dialogo la componente multibanda da analizzare e il "number of output Principal Component" pari a 1. Ciò permette di conseguire due file: una mappa raster e un file text, contenente le statistiche delle bande e delle componenti principali. Quest'ultimo sarà proprio il file che servirà in seguito, per poter comprendere come pesare gli indicatori.

Aperto, quindi, il file text si scorgono dei dati che indicano la varianza di ciascun indicatore nella costruzione del pericolo. Tra questi dati sarà necessario analizzare la percentuale che spiega quanto le bande influiscano sulla covarianza e la matrice di covarianza che incrocia le bande e le componenti. Nella figura sottostante (fig. 4-29) è riportato un esempio del file statistiche nel quale sono evidenziate le variabili utili all'elaborazione.



```
Correlation Matrix Band1 Band2 Band3 Band4 Band5 Band6
Band1 1.000 0.640 0.500 0.580 0.320 0.328
Band2 0.640 1.000 0.917 0.951 0.435 0.172
Band3 0.500 0.917 1.000 0.890 0.545 -0.187
Band4 0.580 0.951 0.890 1.000 0.377 0.165
Band5 0.320 0.435 0.545 0.377 1.000 -0.123
Band6 0.328 0.172 -0.187 0.165 -0.123 1.000
```

```
Cov.Eigenvectors PC1 PC2 PC3 PC4 PC5 PC6
Band1 -0.384 -0.341 -0.238 -0.822 0.059 0.029
Band2 -0.513 -0.055 0.211 0.141 -0.531 -0.622
Band3 -0.492 0.270 0.215 0.059 -0.311 0.734
Band4 -0.497 -0.057 0.306 0.220 0.774 -0.092
Band5 -0.310 0.348 -0.842 0.247 0.081 -0.075
Band6 -0.065 -0.827 -0.222 0.438 -0.110 0.244
```

```
Bands PC1 PC2 PC3 PC4 PC5 PC6
Cov.Eigenvalues 3.564 1.271 0.673 0.429 0.050 0.013
Sum of Eigenvalues 3.564 4.835 5.508 5.937 5.987 6.000
Eigenvalues/Sum 0.594 0.806 0.918 0.989 0.998 1.000
Percentages (%) 59.4 80.6 91.8 98.9 99.8 100.0
```

Figura 4-29: Immagine rappresentante il contenuto del file statistiche prodotto dall'applicazione della PCA su Qgis. Sono evidenziate la matrice di covarianza e le percentuali di spiegazione delle variabili inserite nell'analisi [screenshot del file text].

A questo punto bisogna individuare gli indicatori inseriti nell'elaborazione e farli corrispondere alle bande presenti nella matrice di covarianza. In seguito ad aver effettuato il riconoscimento, si sceglie quale percentuale di spiegazione dei dati si vuole avere e nel caso in questione si è deciso di considerare le componenti principali che spiegano almeno il 90% dei dati. Tenendo in considerazione questo elemento, si evidenziano i valori che in assoluto si dimostrano maggiori ad una soglia, stimata in questo caso a 0.300. Il risultato (tab. 4-11) presenta, pertanto i coefficienti che in Qgis verranno moltiplicati ad ogni indicatore in base alla colonna della componente a cui corrispondono.



Cov,EigenVectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
LST	-0,384	-0,341	-0,238	-0,822	0,059	0,029
discomfort_index	-0,513	-0,055	0,211	0,141	-0,531	-0,622
humidex	-0,492	0,27	0,215	0,059	-0,311	0,734
temperatura_apparente	-0,497	-0,057	0,306	0,22	0,774	-0,092
giorni_tropicali	-0,31	0,348	-0,842	0,247	0,081	-0,075
notti_tropicali	-0,065	-0,827	-0,222	0,438	-0,11	0,244
Percentages(%)	59,4	80,6	91,8	98,9	99,8	100

Tabella 4-11: Rappresentazione dei valori che superano la soglia prestabilita nella matrice di covarianza [produzione propria].

Il risultato dimostra come si siano prese in considerazione le prime tre componenti principali che spiegano fino al 91.8% dei dati. Sono, inoltre, evidenziati i valori che superano in negativo e in positivo la soglia fissata a 0.3.

Ora i coefficienti evidenziati per la PC1 (componente principale 1) verranno moltiplicati per gli indicatori a cui corrispondono e successivamente si effettuerà la stessa operazione per le altre due componenti principali, in questo modo:



P_PC1

"LST_normalizzato@1" * -0.384 +
"discomfort_index_normalizzato@1" * -0.513+
"humidex_normalizzato@1" * -0.492+
"temperatura_apparente_normalizzato@1" * -0.497+
"giorni_tropicali_normalizzati@1" * -0.31

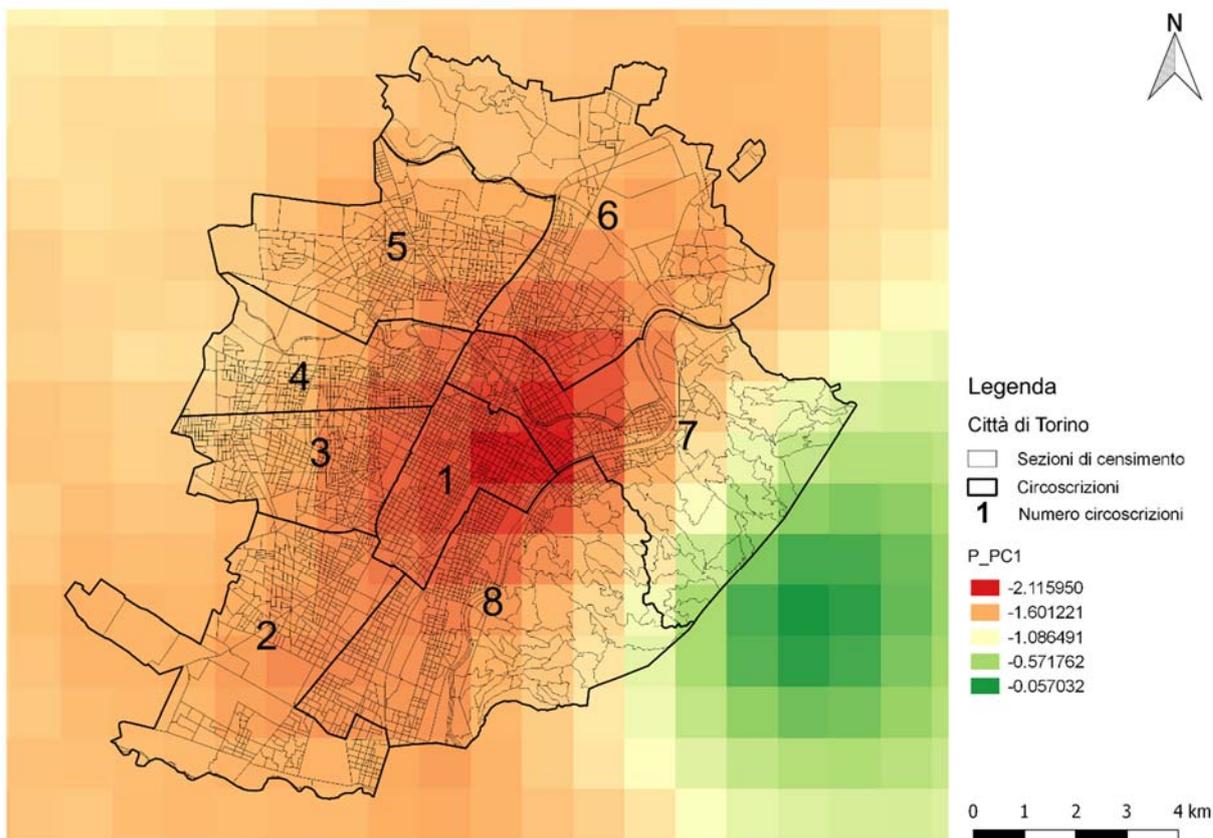


Figura 4-30: Rappresentazione grafica della prima componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis].



P_PC2

"LST_normalizzato@1" * -0.341+

"giorni_tropicali_normalizzati@1" * 0.348 +

"notti_tropicali_normalizzate@1" * -0.827

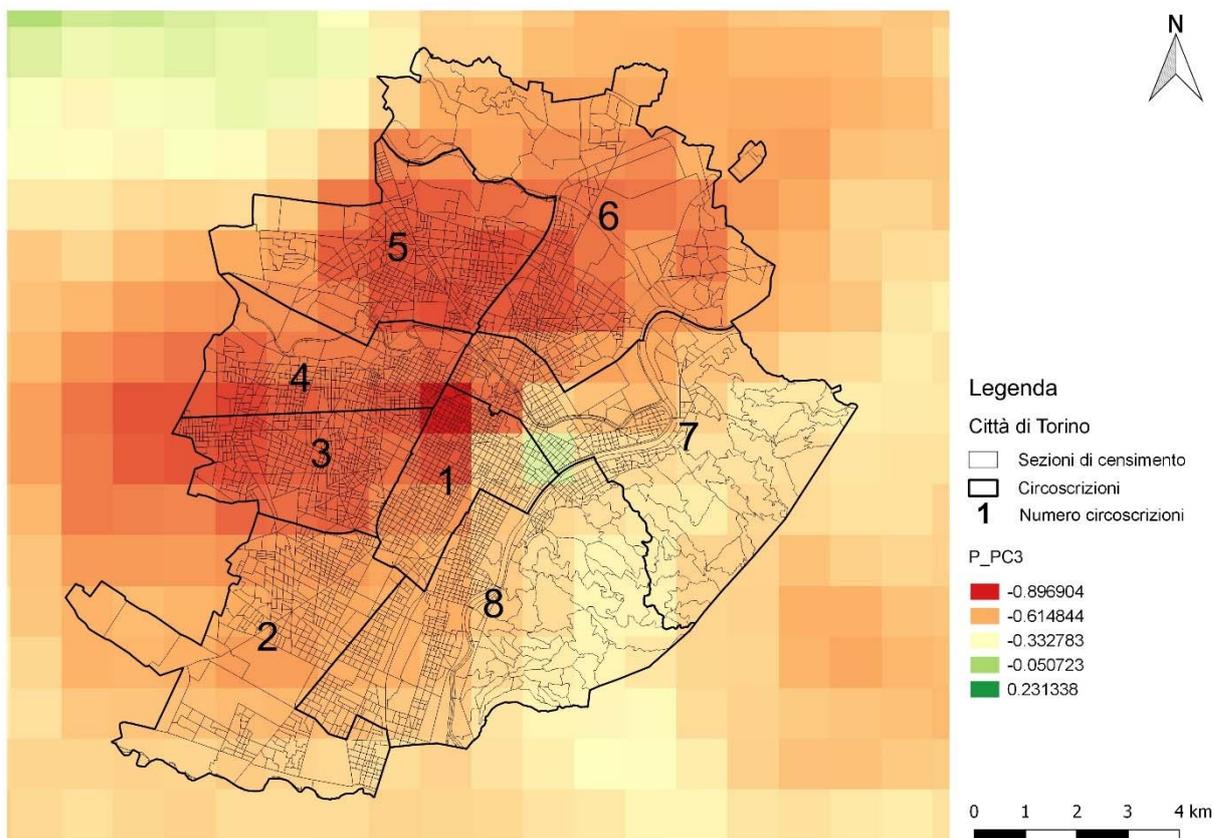


Figura 4-31: Rappresentazione grafica della seconda componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis].



P_PC3

"temperatura_apparente_normalizzata@1" *0.306 +

"giorni_tropicali_normalizzati@1" * -0.842

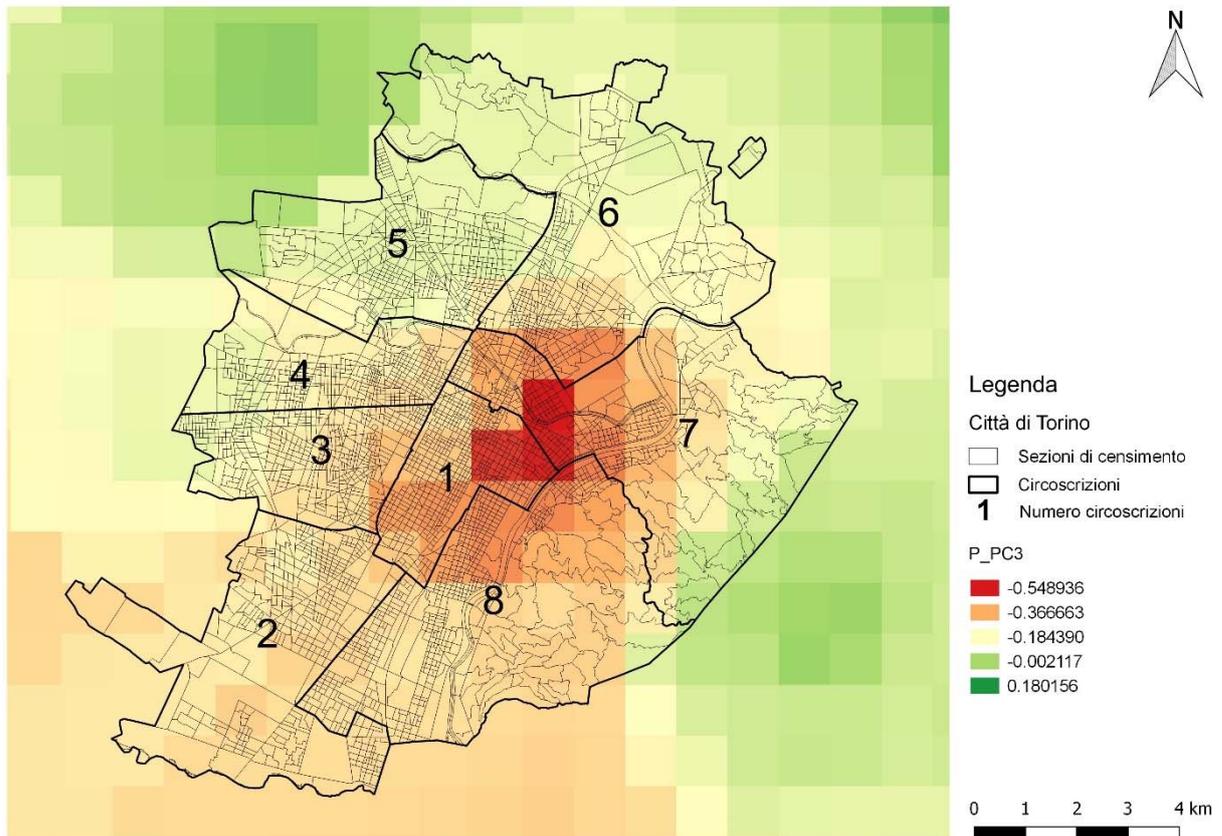


Figura 4-32: Rappresentazione grafica della terza componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis]. ***** pag.285

Si conseguono, così, tre raster rappresentanti i valori appena calcolati per ciascuna componente principale.



Lo step successivo è la quantificazione della varianza e dei pesi da assegnare alle componenti. Ciò si effettua prendendo la differenza tra le percentuali espressa dai dati nella spiegazione delle variabili e calcolando il quoziente tra le differenze e la percentuale numericamente maggiore.

Percentages(%)	59,4	80,6	91,8	98,9	99,8	100
varianza pc	59,4	21,2	11,2			
pesi pc	0,647059	0,230937	0,122004			

Tabella 4-12: Esplicitazione della varianza e dei pesi calcolati a partire dalle percentuali risultanti dalla PCA [produzione propria].

4.2.3.2. Somma e classificazione

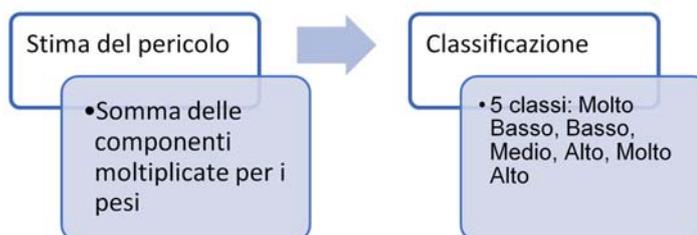


Figura 4-33: Processo schematico della somma degli indicatori e della classificazione del pericolo ottenuto [produzione propria].

I pesi ottenuti devono essere moltiplicati per le componenti principali stimate precedentemente, che allo stesso tempo vengono sommate. L'esito che si raggiunge è la stima del pericolo.

Indicatore composito del Pericolo

"p_pc1@1"*0.647058823529412+

"p_pc2@1"*0.230936819172113+

"p_pc3@1"*0.122004357298475

Il risultato ottenuto consiste in valori pesati corrispondenti alle celle della griglia a cui sono correlati.

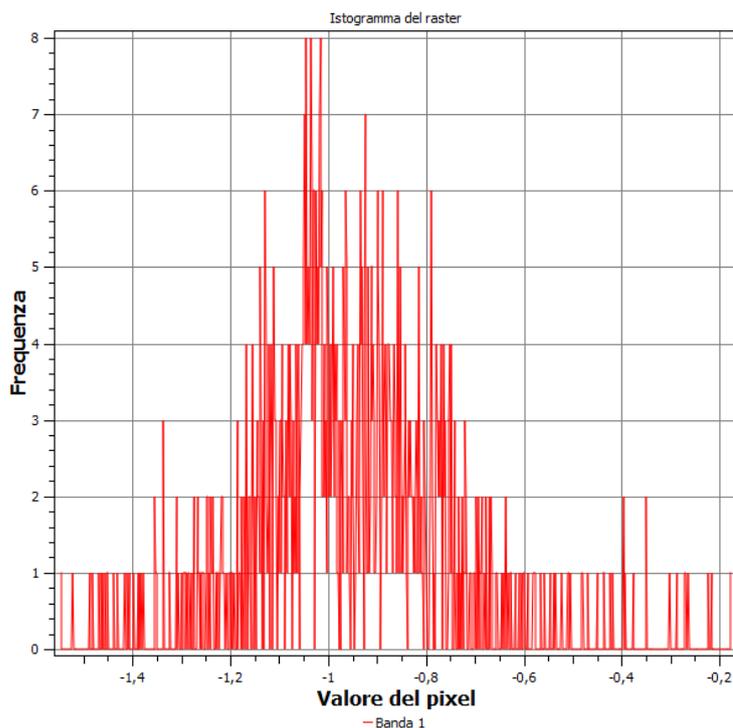


Figura 4-34: Istogramma che mette a relazione la frequenza e i valori del pixel per il raster del pericolo [produzione propria su Qgis].

Si classifica, infine, seguendo la suddivisione in 5 classi, già utilizzata precedentemente per ognuno degli indicatori. Considerando una scala di colori semaforici adatta alla rappresentazione di condizioni di pericolo, la mappa si estenderà dal verde al rosso. Le 5 classi individuano, infatti, 5 categorie di pericolo: Molto Basso corrispondente al verde più intenso, Basso, Medio, Alto e Molto Alto corrispondente invece al rosso più vivo. Questa classificazione grafica indica, perciò, chiaramente la distribuzione della componente del pericolo sul territorio.

Classi di valore	Classi di pericolo
	Molto Basso
	Basso
	Medio
	Alto
	Molto Alto

Tabella 4-13: Corrispondenza tra colore e classe di pericolo che si andrà a vedere in seguito in mappa [produzione propria].

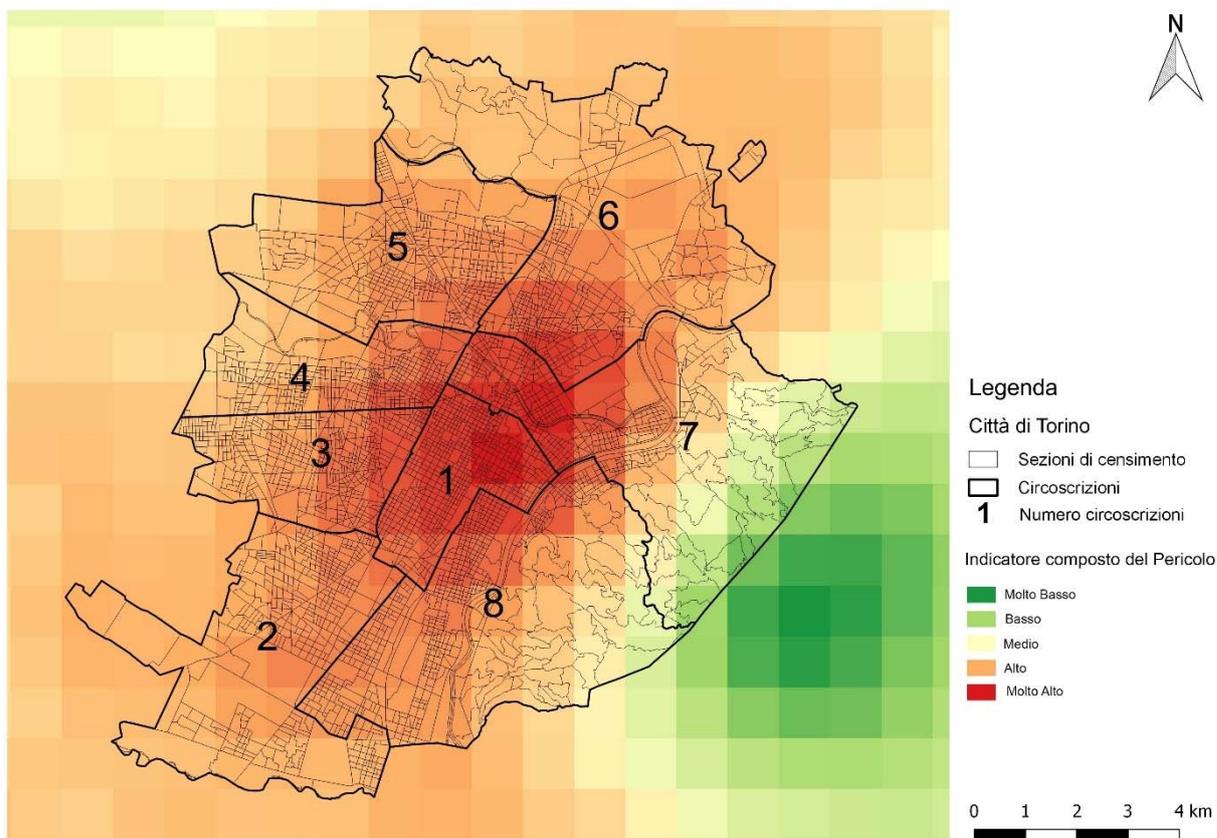


Figura 4-35: Tavola raffigurante la distribuzione dell'indicatore composto del pericolo sul territorio torinese [produzione propria su Qgis].

La mappa dimostra come la componente del pericolo sia molto sviluppata nella parte centrale della città di Torino, colpendo in particolare la circoscrizione 1. Nelle altre circoscrizioni i valori si presentano alti e sui confini comunali medi, ad eccezione della zona collinare ad est della città, dove le condizioni di pericolo sono classificate con valori bassi e molto bassi. Questa classificazione è giustificata dalla conformazione morfologica del territorio. Nelle zone centrali, infatti, la vicinanza dei palazzi, la ristrettezza delle strade e la mancanza di corridoi ventilati contribuiscono ad una maggiore temperatura e ad una elevata percezione del caldo, pian piano diminuendo verso i contorni della città, rispecchiando pertanto il comportamento delle isole di calore. Nella zona collinare, per via dell'altitudine, della vegetazione e degli ampi spazi che la caratterizzano, è meno esposta a temperature elevate e di conseguenza gli effetti sulla popolazione sono maggiormente sopportabili.



4.2.4. GLI INDICATORI DELLA VULNERABILITÀ E LA LORO APPLICAZIONE

La vulnerabilità è la componente del rischio che misura la percentuale di perdita causata da un evento climatico estremo. Nella valutazione del rischio questo fattore assume una particolare importanza, poiché può rappresentare in modo chiaro come una città viene colpita dal pericolo climatico. Attraverso la distribuzione della popolazione nelle varie zone che costituiscono Torino è, infatti, possibile comprendere come l'evento climatico estremo, ovvero le ondate di calore, provoca un danno, che va dal disagio alla morte. In ambito urbano, inoltre, non solo la salute della popolazione può risentire degli effetti negativi delle ondate di calore, ma anche gli ecosistemi, il sistema economico, il sistema culturale e le strutture. L'IPCC definisce, infatti: "Gli impatti si riferiscono agli effetti sulla vita, sui mezzi di sussistenza, sulla salute, sugli ecosistemi, sulle economie, sulle società, sulle culture, sui servizi e sulle infrastrutture dovute all'interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si verificano nel corso di uno specifico arco temporale con la vulnerabilità di una società o di un sistema esposto" (IPCC, 2014). Qualsiasi oggetto o individuo che potrebbe risentire del pericolo climatico possiede, infatti, una relativa vulnerabilità che indica la perdita che si potrebbe verificare nel caso tali cose o persone venissero colpite. Perdita che generalmente è misurata socialmente ed economicamente, rispettivamente per persone e beni. Addirittura è stato dimostrato che all'interno dello stesso centro urbano la vulnerabilità può variare a seconda della zona analizzata (Davidson R., 1997). Per Torino si è, infatti, analizzato in quale modo la popolazione residente è colpita dalle sollecitazioni del pericolo per capire i danni sociali ed economici che si verificano nelle diverse zone della città, dalle circoscrizioni alle sezioni di censimento. Oltre agli indicatori che descrivono in particolare la vulnerabilità, si è deciso di rivolgere la propria attenzione a quegli indici che al contrario degli altri devono essere sottratti, poiché potrebbero essere considerati una componente dell'adattamento della città nei confronti delle ondate di calore. Il tema dell'adattamento è, infatti, un tema molto importante e significativo per la possibilità di mitigare in parte gli effetti derivanti da temperature estreme. Esso, infatti, "esprime il processo di aggiustamento alle attuali e previste condizioni climatiche e ai suoi effetti. Nel sistema antropico, l'adattamento cerca di moderare o evitare danni o sfruttare opportunità vantaggiose. In alcuni insiemi



naturali, l'intervento umano può facilitarne le condizioni" (IPCC, 2014). Negli ultimi anni, soprattutto dopo l'estate del 2003 in cui le temperature hanno raggiunto livelli record e le ondate di calore sono state frequenti, gli scienziati hanno iniziato a percepire il fenomeno come sempre più in espansione e sempre più frequente. Per questo motivi è sorta la necessità di trovare dei metodi per affrontare e ridurre gli eventi climatici estremi. L'Europa ad esempio ha evidenziato l'importanza di politiche di adattamento, da sviluppare attraverso ogni livello di governo, che forniscano piani di adattamento integrati e assicurino la gestione del rischio (IPCC, 2014). Nelle politiche di adattamento alle ondate di calore nel futuro, una serie di opzioni sono state considerate, da quelle a breve termine a quelle medie e di lungo periodo (World Meteorological Organization, 2015). Ciò vuol dire includere gli amministratori e i tecnici ma anche la popolazione, per renderla consapevole che migliorare e mitigare la situazione urbana e climatica oggi, significa ottimizzarla anche per il futuro. A livello europeo gli studiosi si sono focalizzati su quattro obiettivi chiari: "sviluppare e migliorare la conoscenza di base sugli impatti dei cambiamenti climatici, la mappatura delle vulnerabilità, i costi e i benefici delle misure di adattamento; integrare l'adattamento nelle politiche chiave europee; utilizzare una combinazione di strumenti politico-economici per assicurare l'effettiva riuscita dell'adattamento; infine sostenere la cooperazione internazionale per l'adattamento assieme agli Stati Membri per integrare l'adattamento nella politica estera dell'UE" (Castellari et al., 2014). In Italia le direttive europee nel campo dei cambiamenti climatici sono state recepite dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con lo scopo della realizzazione di una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, mentre alcune iniziative a livello internazionale ed europeo sono già state sviluppate anche in molte città italiane. Le più significative sono state: il progetto AMICA - Adaptation and Mitigation Integrated Climate protection Approach che ha coinvolto la città di Venezia con lo scopo esplorare le misure adottabili per affrontare i cambiamenti climatici; il progetto UHI - Urban Heat Island che ha interessato il monitoraggio e la prevenzione nella città di Bari; il progetto LAKs - Local Accountability for Kyoto goals che ha favorito la nascita di nuovi strumenti per la valutazione dell'impatto climatico delle politiche, coinvolgendo Reggio Emilia e Padova; il progetto RACES - Raising Awareness on Climate change and Energy per promuovere l'informazione e la sensibilizzazione sulla



città di Firenze e Modena, il Progetto GRaBS - Green and Blue Space Adaptation for Urban Areas and Eco Towns Saving che vuole sviluppare la sensibilizzazione per le reti naturali e incrementare la naturalità con partner quali Genova e Catania; il Boscoincittà a Milano che intraprende l'argomento della forestazione cittadina; il progetto GAIA - Green Areas Inner-city Agreement promosso dal comune di Bologna per incrementare le aree verdi in città; il progetto LIFE ACT - Adapting to Climate change in Time che coinvolgendo Ancona ha promosso l'analisi dei cambiamenti climatici sulla salute, sulla cultura e sul turismo; il BLUE AP (LIFE +) finalizzato alla redazione del Piano di Adattamento della città di Bologna e infine il Progetto UHI - Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon per fronteggiare attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale il fenomeno delle isole di calore, interessando le città di Padova e Modena (Castellari et al., 2014). Alcune delle soluzioni per la mitigazione e l'adattamento alle ondate di calore comprendono, infatti, soluzioni riferibili alla riduzione dell'isola di calore. Queste sono la presenza e l'incremento di: coperture verdi, pavimentazioni di colore e materiale chiaro, coperture chiare, alberi e vegetazione, aree verdi come parchi e materiali con proprietà radiative e termali (EPA, 2008 e Hoverter, 2012). Un altro possibile strumento di adattamento agli eventi estremi è il Bollettino meteorologico prodotto e distribuito dall'Arpa Piemonte. La funzione principale del bollettino è, infatti, quella di mettere in guardia la popolazione dandogli la possibilità di prendere le giuste precauzioni di adeguamento alle previsioni del caldo.

In generale, quindi, gli indicatori che compongono la vulnerabilità sono dodici e si suddividono tra sociali, ovvero riguardanti in prima persona gli individui e fisici che invece si basano sul territorio. Nello specifico gli indicatori quali i sociali e l'epoca di costruzione, sono stati costruiti grazie all'ISTAT e vengono descritti nelle pubblicazioni dell'Arpa e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Sono stati, infatti, analizzati grazie ai rispettivi documenti: "Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015", del 2015 e "Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development", del 2015. Altri indicatori come il consumo di suolo e gli edifici produttivi sono stati, invece realizzati, partendo dai documenti dell'Ispra, quali



ad esempio “Focus sulle città e la sfida dei cambiamenti climatici. Qualità dell’ambiente urbano. X° Rapporto” del 2014 e “Qualità dell’ambiente urbano. XII° Rapporto” del 2016. Altri ancora quali la mancanza di aree verdi, il bilancio arboreo scarso e l’insufficienza delle strutture assistenziali sono stati messi in campo, considerandoli al complementare. Essendo racchiusi, infatti, nella vulnerabilità devono rappresentare un basso adattamento e una maggiore vulnerabilità.

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Indice di non scolarizzazione	V1	%	Analfabeti, alfabeti, licenza elementare e media	sociale	quantitativo
	Soggetti soli	V2	%	Famiglie monocomponenti	sociale	quantitativo
	Stranieri	V3	%	Stranieri e apolidi	sociale	quantitativo
	Disagio occupazionale	V4	%	pop. non appartenente alla forze lavoro	sociale	quantitativo
	Soggetti Bisognosi	V5	%	Bisognosi di aiuti economici	sociale	quantitativo
Vulnerabilità	Epoca di costruzione	V6	%	Da prima del 1919 fino al 1971	fisica	quantitativo
	Consumo di suolo	V7	%	Area consumata	fisica	quantitativo
	Edifici produttivi	V8	%	Edifici produttivi e commerciali	fisica	quantitativo
	Prezzo medio di offerta	V9	€/mq	Prezzo medio di residenziale usato	fisica	quantitativo
	Mancanza di Aree Verdi	V10	%	Parchi e giardini pubblici	fisica	quantitativo
	Bilancio Arboreo scarso	V11	%	Alberature e filari	fisica	quantitativo
	Insufficienza di Strutture di assistenza	V12	%	Ospedali, farmacie, socio-assistenza	fisica	quantitativo

Tabella 4-14: Grafico rappresentante gli indicatori sociali e fisici costituenti la componente della vulnerabilità [produzione propria].



Il processo di applicazione degli indicatori, per stimare la vulnerabilità, si svolge attraverso alcuni step che comprendono innanzitutto il calcolo degli indicatori su sezioni di censimento, circoscrizioni o microsezioni censuarie, classificando i valori in tre classi. In seguito alla ripartizione dei dati si utilizzerà lo strumento di geoprocessing di Qgis dal nome v.to.rast.attribute. Tale strumento permette la conversione dei vettori in raster, consentendo l'interpolazione dei dati sul territorio e il ricampionamento sulla GRID, costituita da celle di 1 km per 1 km. I valori di ogni pixel verranno successivamente normalizzati. Gli indicatori normalizzati possono essere, pertanto, sottoposto all'analisi delle componenti principali per estrarre i pesi e stimare la vulnerabilità.



Figura 4-36: Rappresentazione schematica del procedimento per realizzare la classificazione della vulnerabilità attraverso l'elaborazione degli indicatori [produzione propria].



4.2.4.1. Indice di non scolarizzazione

I cinque indicatori appartenenti alla sfera sociale della vulnerabilità, ovvero l'indice di non scolarizzazione, i soggetti soli, gli stranieri, il disagio occupazionale e i soggetti bisognosi fanno parte di un gruppo denominato in generale indicatori socio-economici. I fattori, infatti, che influiscono sulla vulnerabilità della persona sono legati alla sfera sociale ed economica della popolazione. La scelta e l'interpretazione di questi indicatori non è stata semplice a causa dei tantissimi risultati emersi da diversi studi effettuati a livello internazionale. R. Basu e J.M. Samet riportano nell'articolo "Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence" del 2002 come nelle città americane la correlazione tra mortalità e condizioni socio-economiche disagiate dei residenti sia molto elevata. Anche in Europa questo legame è stato riscontrato, come dimostrano diverse analisi. In Francia, lo studio di Rey et al. del 2009 svela che l'associazione mortalità - disagio sociale ed economico si verifica soprattutto a Parigi, rispetto al resto del paese e così avviene anche a Barcellona in Spagna, studiata da Borrell et al. nel 2006. Le analisi di Vandentorren et al. del 2006 e quelle di Bouchama et al. del 2007 hanno dimostrato, invece, che l'eccesso di eventi sanitari si sono verificati in quantità elevata tra persone sole, ovvero non sposate o che abitano sole. Gli individui che presentano minor sostegno da parte di familiari o amici sono, infatti, più a rischio. Anche la Regione Piemonte e il ministero della Salute individuano come soggetti fragili in caso di temperature elevate, le persone sole tra le quali persone vedove o nuclei familiari con un solo componente. In particolare Kovats e Hajat hanno riportato nei loro studi del 2008, che le persone dipendenti da altre e che non possono essere autonome per problemi di salute oppure perché molto anziane subiscono con maggior forza gli impatti negativi dovuti ad eventi climatici estremi. In Italia un gruppo di studiosi guidato da Michelozzi ha analizzato il fenomeno nel 2005, evidenziando come il livello educativo della popolazione sia un indicatore fondamentale. Nella città di Roma, infatti, il 17.9% degli individui deceduti nell'estate del 2003 possedeva un livello medio-basso di istruzione, mentre solo il 5.9% un livello molto alto. Un simile andamento dei dati è stato registrato anche a Milano. Gli indicatori sociali che emergono dai documenti analizzati sono quindi: l'indice di non scolarizzazione, i soggetti soli e i soggetti non



autonomi. Un'altra fascia debole della popolazione, che risente maggiormente delle ondate di calore, è quella degli stranieri. Nonostante, infatti, le vaste campagne di integrazione, spesso i migranti abitano in situazioni sovraffollate e lavorano in condizioni esasperanti per la salute. Proprio riguardo al lavoro la World Health Organization mette in campo l'indicatore del disagio occupazionale. Chi ha un potere d'acquisto minore non si può, infatti, permettere beni quali il condizionatore oppure strutture efficienti in cui vivere e rimangono più esposti al caldo estremo. Un altro aspetto legato all'occupazione che colpisce è il reddito in generale. Gli epidemiologi R. Basu e J.M. Samet nel 2002 sottolineano, infatti, che lo status economico costituisce un importante fattore nella prevenzione degli effetti negativi da ondate di calore. Lo studio riporta che ad un reddito basso corrisponde un livello di vulnerabilità elevato, mentre ad uno status economico medio-alto, la vulnerabilità diminuisce, comparando così un valore minore.

Per poter riportare questi indicatori nel dettaglio è stato, però, necessario affidarsi ai dati socio-economici dell'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica), che ogni dieci anni registra lo stato della popolazione italiana attraverso il censimento. Sul sito dell'ISTAT è, infatti, possibile trovare i dati organizzati per regione. Per ogni regione la cartella Excel classifica i valori secondo sezioni di censimento (il comune di Torino è suddiviso in 3.712 sezioni) e secondo differenti variabili.



Tabella 4-15: Primo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, l'Indice di non scolarizzazione [produzione propria].

Per quanto riguarda l'Indice di non scolarizzazione, tra i dati ricavati dal censimento ISTAT del 2011 sono stati presi in considerazione quei valori indicanti i soggetti con



un basso livello di istruzione, con alle spalle una breve carriera scolastica o addirittura analfabeti. Si hanno, quindi, nei metadati:

- popolazione residente analfabeta (individui che non sanno né leggere né scrivere) corrispondente alla colonna P52 del file ISTAT;
- popolazione residente alfabeti (persone che sanno leggere e scrivere ma non hanno frequentato scuole nemmeno elementari) o P51;
- popolazione residente con licenza elementare, P50;
- popolazione residente con media inferiore o P49.

V1 – Indice di non scolarizzazione

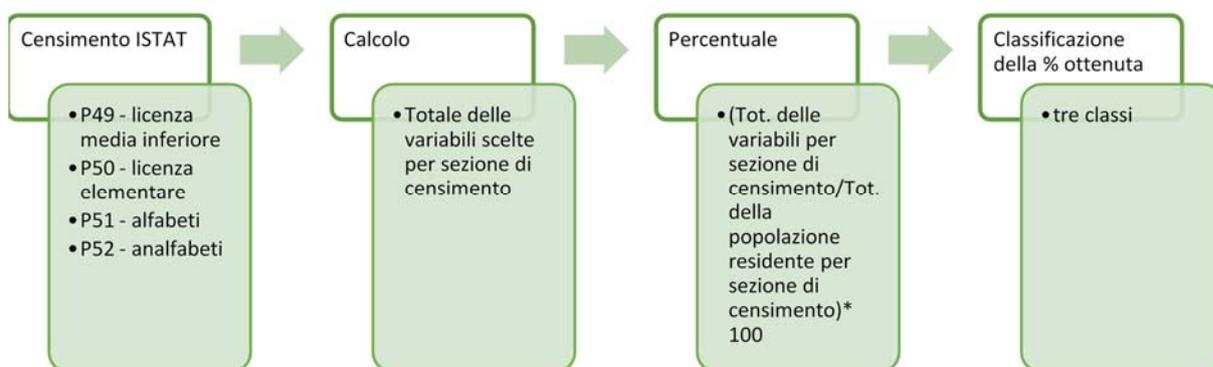


Figura 4-37: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dell'Indice di non scolarizzazione e classificato secondo tre classi [produzione propria].

Scelte le variabili si è svolto il totale numerico per le 4 categorie, per ogni sezione di censimento e in seguito si è ritenuto necessario calcolare la percentuale sul totale dei residenti per ogni sezione di censimento, sempre ricavato dalle tabelle ISTAT. La formula utilizzata per il calcolo della percentuale è, quindi:

$$V1 = \frac{\text{tot. indice di non scolarizzazione per sezione}}{\text{tot. residenti per sezione}} * 100$$

Calcolandone la percentuale si avrà, infatti, un dato più realistico e significativo. Se si considera solo il totale della non scolarizzazione ci si potrebbe imbattere in un dato sfalsato, poiché potrebbe risultare alto, data la dimensione ampia della sezione oppure al contrario un valore basso, poiché la sezione è ridotta. Trovando, quindi, la



percentuale, si avrà un totale proporzionato al numero della popolazione residente, mostrando effettivamente dove la popolazione è più istruita e dove meno. Nel calcolo è necessario, però, prestare attenzione ai valori risultanti impossibili poiché divisi per 0. In questi casi il valore è da modificare assegnando uno zero. Una volta che il calcolo della percentuale è stato effettuato sul foglio Excel, bisogna trasformare il file in .csv, in modo che sia leggibile da Qgis. Effettuato questo passaggio, si può caricare il file su Qgis.

Aperto poi le proprietà dello shapefile delle sezioni di censimento della città di Torino è possibile effettuare un join con la tabella dell'indice di non scolarizzazione, attraverso il campo in comune corrispondente al numero proprio delle sezioni. Si potrà, così, classificare il valore dei dati sulla mappa attraverso la graduazione dei colori per la variabile percentuale. La raffigurazione, dunque, trasmette dove i valori di una scarsa o nulla istruzione sono più alti e di conseguenza le zone della città nelle quali la popolazione è più vulnerabile. Questo, poiché, non in grado di accedere a posti di lavoro prestigiosi, ma anzi spesso sottoposti a lavori degradanti e faticosi. Inoltre l'analfabetismo non permette alla popolazione di poter comprendere le indicazioni e i bollettini diffusi dalla Regione e dall'Arpa, essendo così ancora più a rischio.

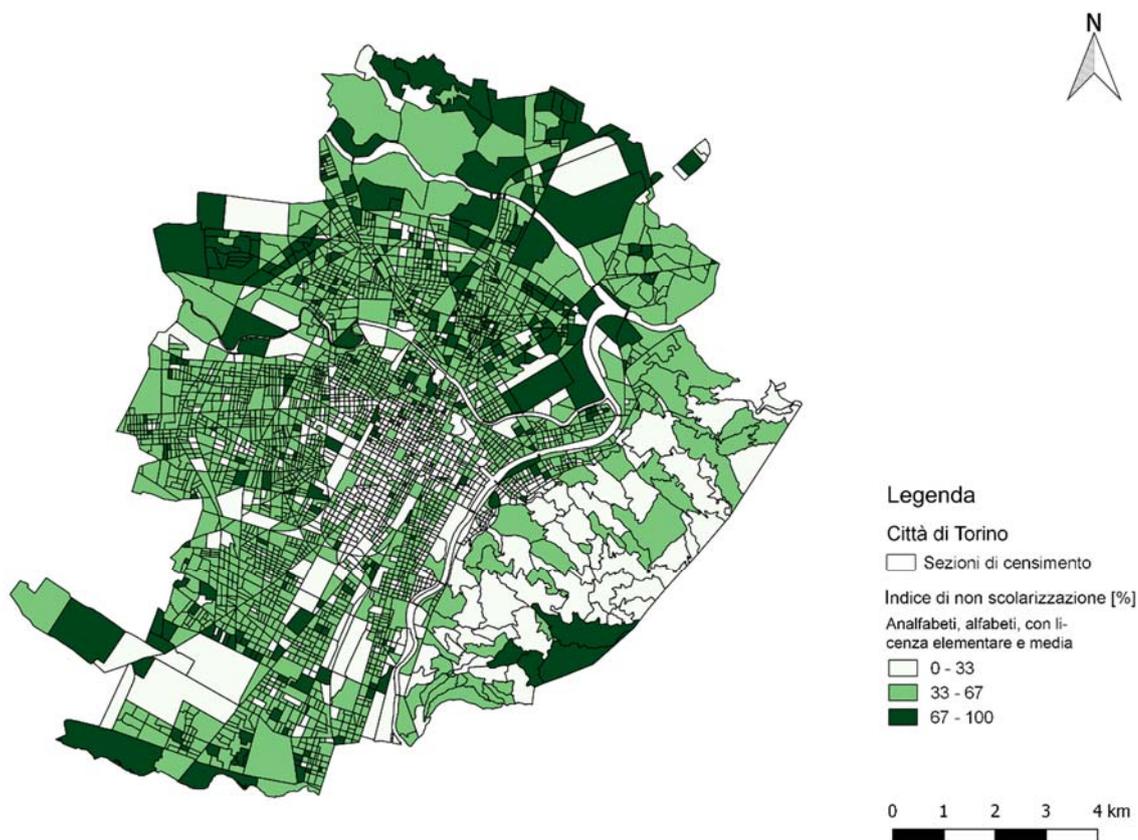


Figura 4-38: Tavola rappresentante la classificazione dell'Indice di non scolarizzazione, ovvero analfabeti, alfabeti, individui con licenza elementare e media, suddiviso per sezioni di censimento [produzione propria su Qgis].

Il risultato evidenzia come a Nord e a Sud il livello di istruzione sia molto basso e i soggetti residenti siano, quindi, maggiormente vulnerabili in caso di ondate di calore.

V1 – Indice di non scolarizzazione Normalizzato su GRID

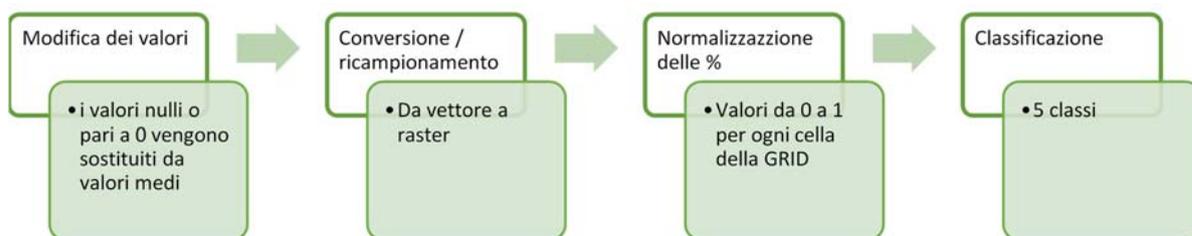


Figura 4-39: Processo per la classificazione dei valori normalizzati dell'Indice di non scolarizzazione sulla GRID [produzione propria].



Risulta necessario ora attribuire alle sezioni di censimento che possiedono valori nulli (non censiti originariamente dall'ISTAT) e quelle che dimostrano valori pari a 0, dei valori medi. Se trasformassimo, infatti, l'indicatore da vettore a raster, senza l'assegnazione dei valori medi, i dati risultanti dalle successive elaborazioni potrebbero presentarsi sfalsati, conseguendo un errore sul risultato finale. Andando ad aprire la tabella attributi del file su Qgis si scorgono subito le righe che presentano una percentuale nulla o pari a 0. Basterà quantificare la media tra tutte le percentuali presenti per l'indice di non scolarizzazione e inserirla al posto dei dati errati.

A questo punto è possibile convertire lo shapefile in un raster, tramite lo strumento di geoprocessing v.to.raster.attribute, fornito dal software Grass Gis, scegliendo come campo di trasformazione la percentuale. Attraverso tale passaggio avviene anche il ricampionamento della variabile sulla GRID. Basta, infatti, scegliere la dimensione del file di output e la grandezza delle celle. Il software da solo troverà la migliore combinazione mediata per assegnare le percentuali delle sezioni di censimento alle celle che le racchiudono.

Si possono, pertanto, normalizzare le percentuali per ottenere dei valori compresi da 0 a 1, facilmente confrontabili e utilizzabili nelle successive elaborazioni. La formula utilizzata per la normalizzazione ed inserita nel raster calculator è la seguente: (Indice di non scolarizzazione – valore minimo) / (valore massimo – valore minimo).

Infine si effettua la classificazione dei dati in cinque classi.

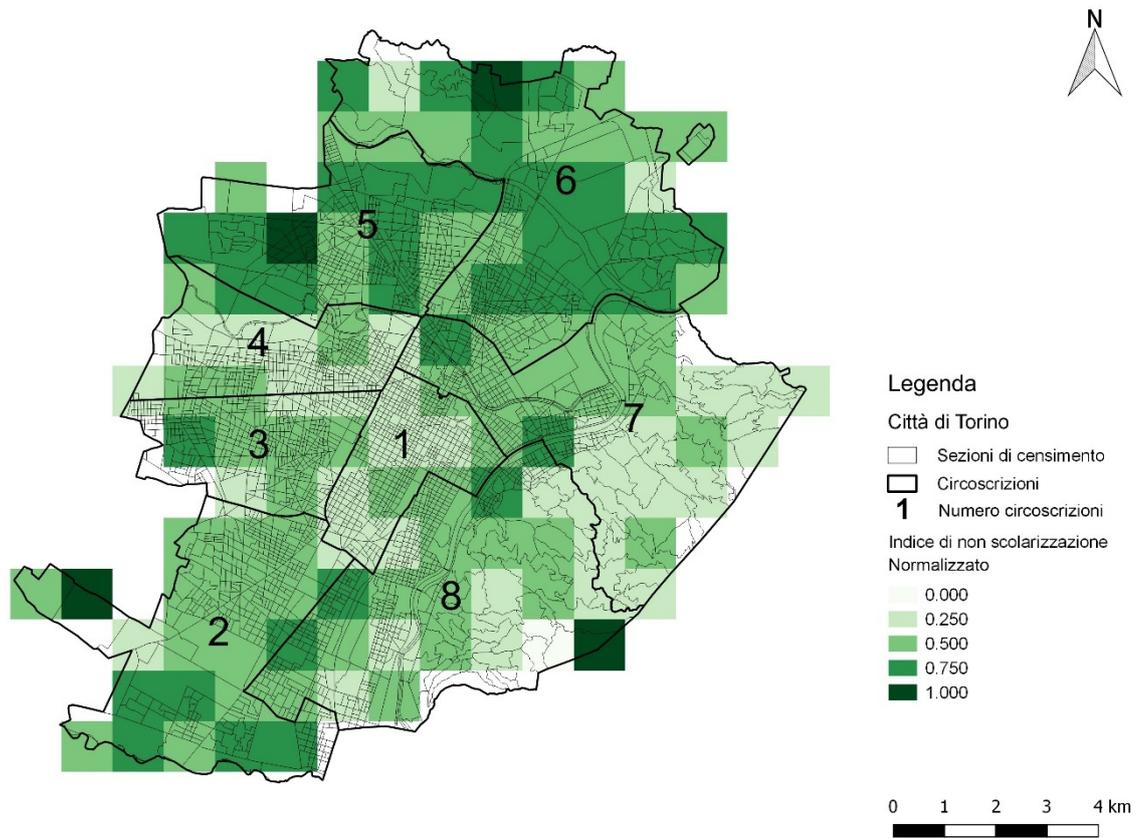


Figura 4-40: Tavola raffigurante i valori dell'Indice di non scolarizzazione o V1, normalizzati e classificati [produzione propria su Qgis].



4.2.4.2. Soggetti Soli



Tabella 4-16: Secondo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, i Soggetti Soli [produzione propria].

Come per il precedente indicatore i dati sono stati ricavati dal censimento ISTAT del 2011, prendendo in considerazione due gruppi significativi:

- popolazione residente vedovi/e corrispondente alla colonna ISTAT P7;
- famiglie residenti con 1 componente o PF3.

V2 – Soggetti Soli

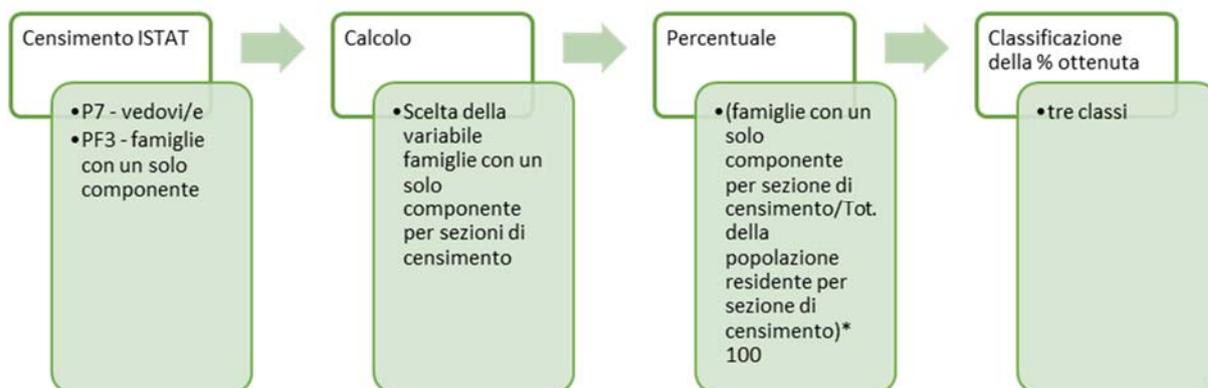


Figura 4-41: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dei Soggetti Soli e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Dopo l'individuazione delle due variabili non si è svolto immediatamente il totale numerico, ma si è scelta una sola classe, ovvero quella delle famiglie residenti con un solo componente. Tale decisione è giustificata dal fatto che le persone vedove potrebbero non essere sole, ma piuttosto in pensionati oppure convivono con i loro famigliari stretti. I vedovi o vedove che vivono da sole sono, invece, comprese nella



categoria del nucleo familiare composto da un solo componente. È necessario, comunque, calcolare la percentuale del gruppo esaminato sul totale dei residenti per ogni sezione di censimento, con la formula:

$$V2 = \frac{\text{famiglie residenti con un solo componente per sezione}}{\text{tot. residenti per sezione}} * 100$$

Come effettuato per l'indicatore precedente, anche in questo caso, una volta trasformato il file Excel in .csv, si andrà ad unire quest'ultimo con il file shape delle sezioni di censimento di Torino. Si potranno così classificare i valori ed osservare come essi si distribuiscono sul territorio. A seconda delle concentrazioni maggiori o minori, la vulnerabilità sarà rispettivamente elevata o meno. La solitudine, soprattutto per le persone poco indipendenti, quali malati, disabili e anziani è una delle cause che espone i soggetti ad una vulnerabilità elevata. In caso di caldo estremo i famigliari possono, infatti, favorire attraverso piccoli gesti una condizione migliore di vita, ricordando agli interessati di bere, di rinfrescarsi ed intervenire in caso di malessere.

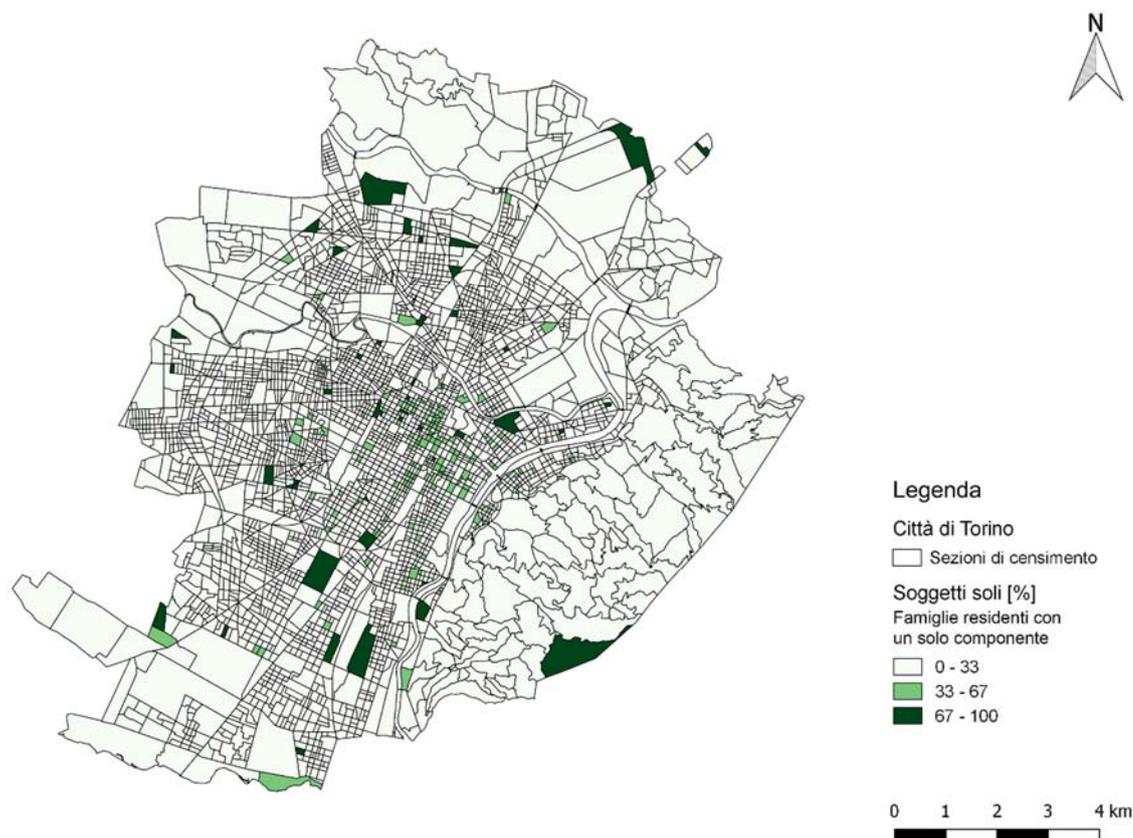


Figura 4-42: Tavola rappresentante la classificazione dei Soggetti Soli suddivisi per sezioni di censimento [produzione propria su Qgis].

Il risultato mostra una distribuzione abbastanza uniforme, considerando anche che la media si attesta su un valore abbastanza basso ovvero sul 20%.

V2 – Soggetti Soli Normalizzati su GRID

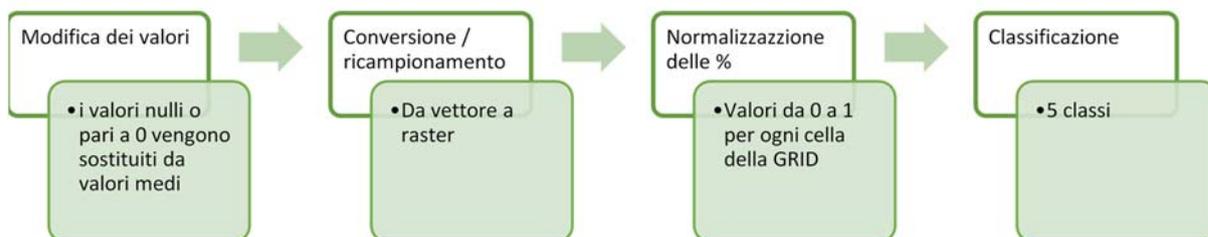


Figura 4-43: Processo per la classificazione dei valori normalizzati dei Soggetti Soli [produzione propria].



Come effettuato per il precedente indicatore, anche in questo caso, devono essere sostituiti i dati nulli o pari a 0 con il valore medio, calcolato tra tutte le percentuali dei soggetti soli. Dopo di che si trasforma lo shapefile in raster, conseguendo un file costituito da celle di 1km per 1km e riportanti la percentuale derivata dalle precedenti sezioni di censimento.

Le percentuali devono essere normalizzate e solo successivamente possono essere classificate in cinque categorie dal colore graduato.

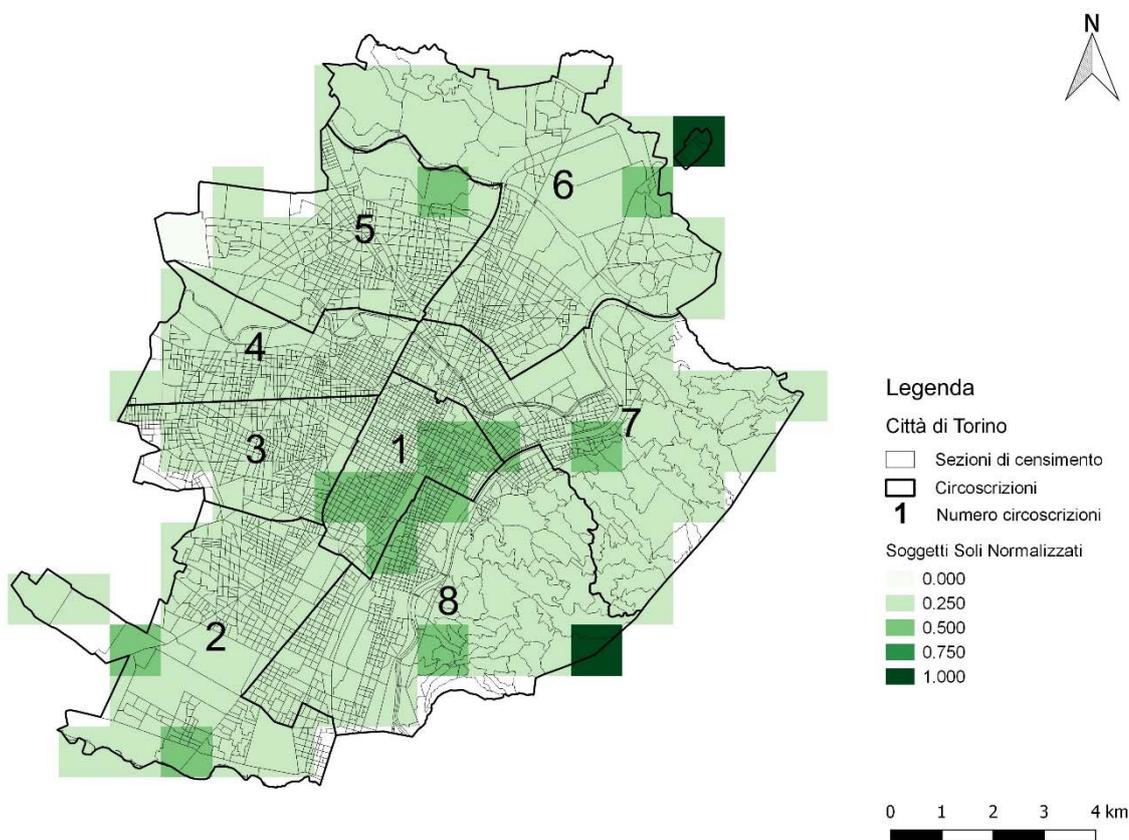


Figura 4-44: Tavola raffigurante i valori dei Soggetti Soli o V2, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].



4.2.4.3. Stranieri



Tabella 4-17: Terzo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, gli Stranieri [produzione propria].

Una sola variabile è disponibile per classificare il numero di stranieri presenti a Torino. Questa classe corrisponde alla colonna ISTAT:

- stranieri e apolidi residenti in Italia-totale, corrispondente alla colonna ST1.

V3 – Stranieri

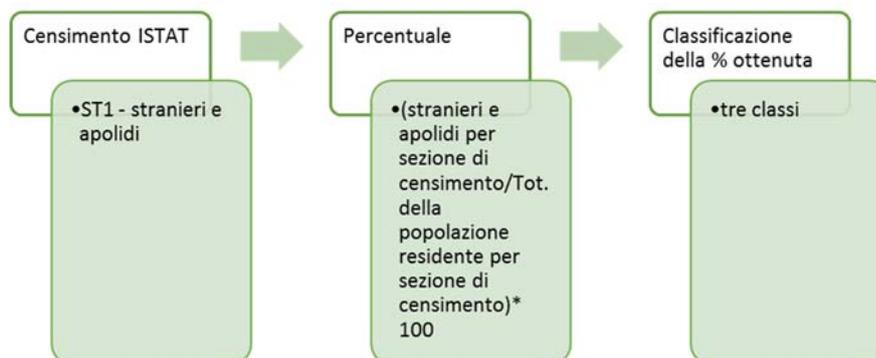


Figura 4-45: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa degli Stranieri e classificati secondo tre classi [produzione propria].

Sebbene l'indice considerato sia uno soltanto, è necessario comunque trovare la percentuale degli stranieri rispetto al totale dei residenti, per avere un dato realistico della variazione sul territorio. La formula utilizzata è:

$$V3 = \frac{\text{tot. stranieri e apolidi in Italia per sezione}}{\text{tot. residenti per sezione}} * 100$$



Il risultato del calcolo viene trasferito su Qgis dove verrà unito alle sezioni di censimento e poi classificato in tre classi graduali. La presenza più elevata di stranieri può significare una condizione di isolamento, di non integrazione, di lavori faticosi e di povertà che conduce gli individui ad una maggiore vulnerabilità.

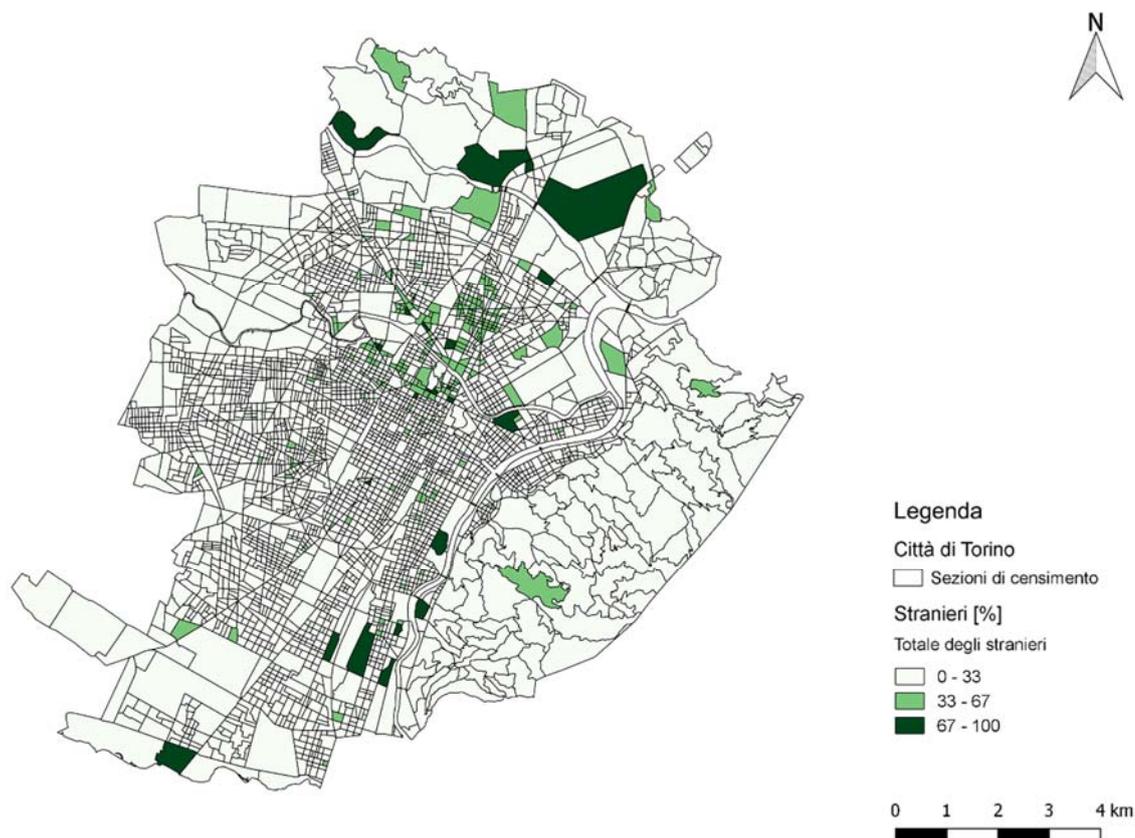


Figura 4-46: Tavola rappresentante la classificazione degli Stranieri, ovvero il totale degli stranieri e apolidi residenti in Italia, suddivisi per sezioni di censimento [produzione propria su Qgis].

In questo caso la mappa mostra una distribuzione variabile dell'indicatore, evidenziando una particolare concentrazione nella zona Nord dei valori più alti, indicanti una presenza quantitativamente maggiore di stranieri nell'area.



V3 – Stranieri Normalizzati su GRID

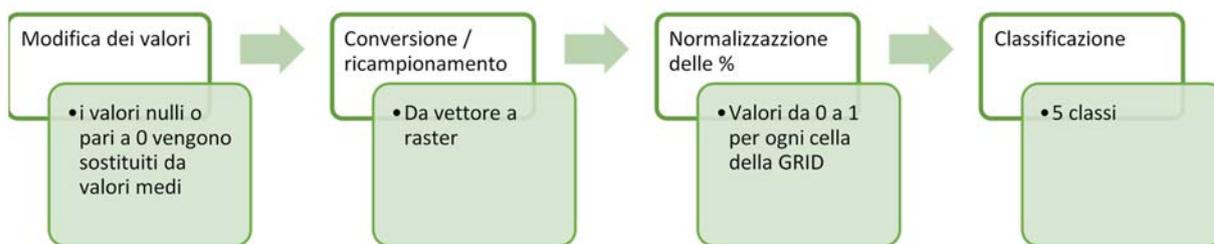


Figura 4-47: Processo per la classificazione dei valori normalizzati degli Stranieri sulla GRID [produzione propria].

Le sezioni di censimento che si presentano nella tabella attributi con valori nulli o pari a 0, vengono riempite con la media quantificata su tutte le percentuali dell'indicatore. Successivamente il vettore viene convertito in raster e rispettivamente i dati vengono ricampionati rispetto alle celle prestabilite di 1 km per 1 km. La griglia presenterà, perciò, dei pixel e ognuno una percentuale. Per poter classificare i dati in cinque classi, si devono prima normalizzare le percentuali utilizzando il raster calculator e la formula $(X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$, dove per X si sceglierà l'indicatore e per Xmin e X max, rispettivamente il valore minimo e quello massimo espresso dallo stesso indicatore.

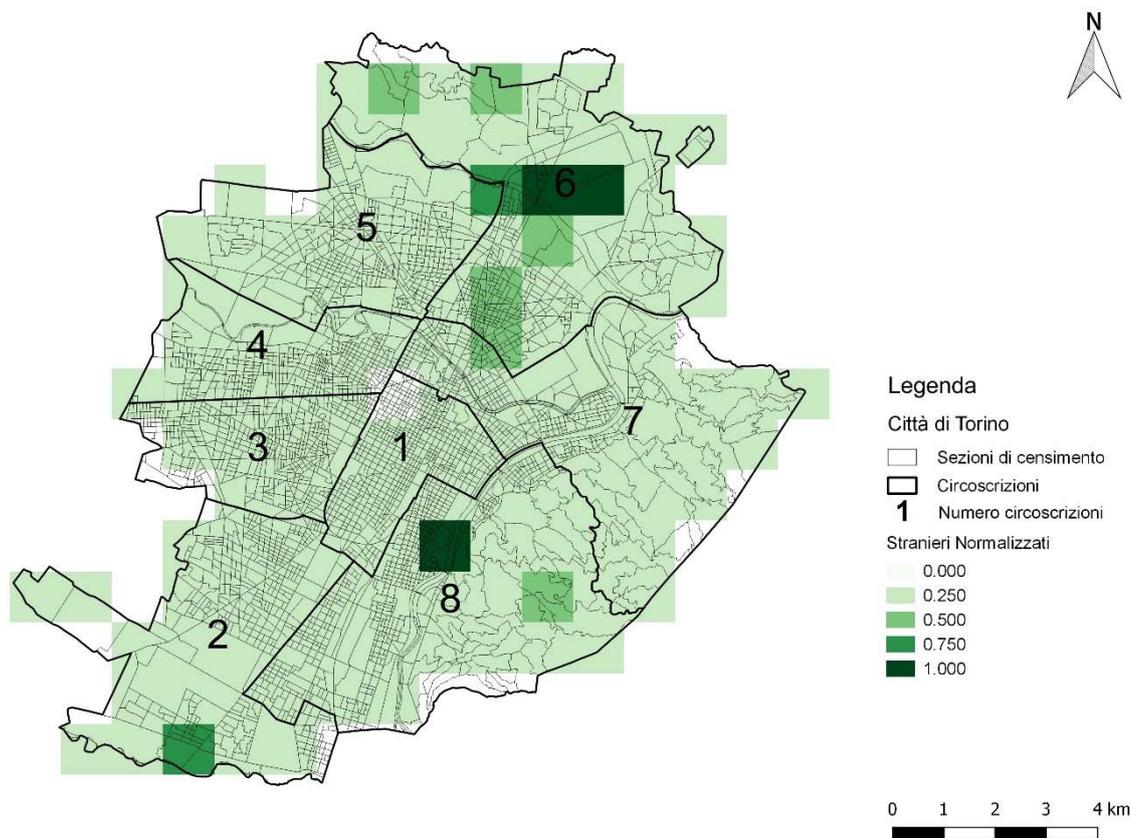


Figura 4-48: Tavola raffigurante i valori degli Stranieri o V3, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.4.4. Disagio Occupazionale

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Disagio Occupazionale	V4	%	pop. non appartenente alla forze lavoro	sociale	quantitativo

Tabella 4-18: Quarto indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, il Disagio Occupazionale [produzione propria].

Le variabili ISTAT assunte per la rappresentazione della vulnerabilità economica della popolazione torinese, sono state due, ovvero:

- popolazione residente-totale di 15 anni e più disoccupata in cerca nuova occupazione, corrispondente alla variabile ISTAT P62;



- popolazione residente - totale di 15 anni e più non appartenente alle forze di lavoro (NFL) ovvero la colonna P128.

V4 – Disagio Occupazionale

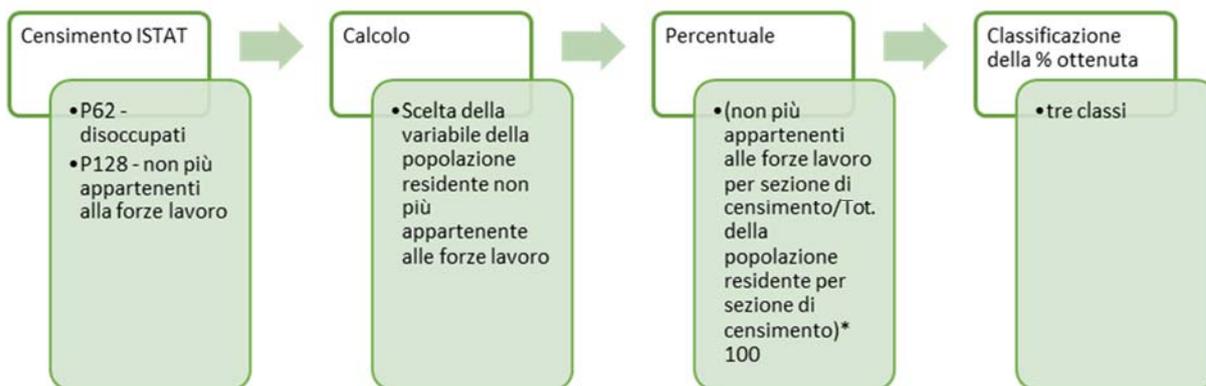


Figura 4-49: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa del Disagio Occupazionale e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

In realtà, in questo caso, la categoria dei disoccupati è già contenuta in quella degli individui non più appartenenti alle forze lavoro e, quindi, per il calcolo della percentuale si utilizzerà solamente quest'ultima variabile, con la formula:

$$V4 = \frac{\text{tot. pop. res. non appartenente alle forze lavoro per sezione}}{\text{tot. residenti per sezione}} * 100$$

Una volta applicata la formula ad ogni riga, corrispondente ad una sezione di censimento, si trasforma il file excel in .csv e si può così caricare su Qgis, dove, in seguito all'unione tra la tabella degli attributi e il vettore delle sezioni di censimento, è possibile classificare i dati attraverso colori graduati in tre classi.

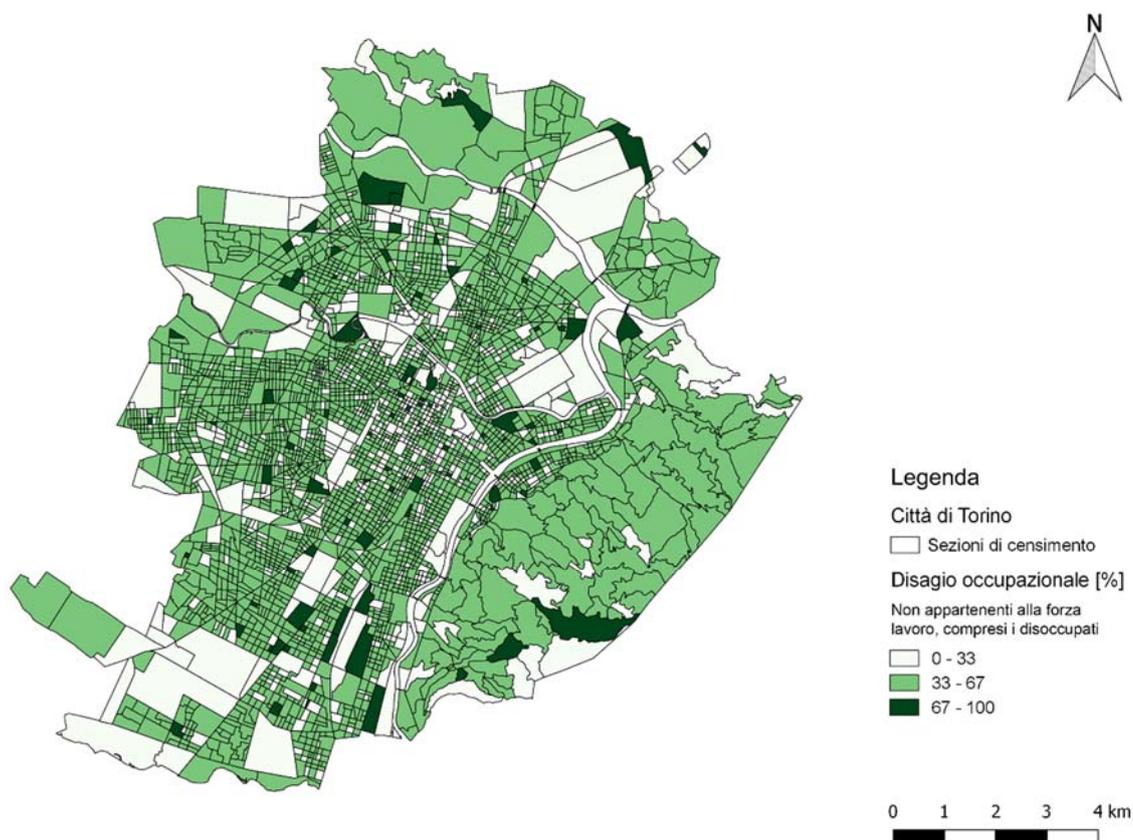


Figura 4-50: Tavola rappresentante la classificazione del Disagio Occupazionale, ovvero il totale degli individui non appartenenti alla forza lavoro, compresi i disoccupati, suddivisi per sezioni di censimento [produzione propria su Qgis].

Il risultato mostra una situazione condizionata da un disagio occupazionale diffuso, con diversi picchi in alcune sezioni di censimento. La media dei dati si attesta su una percentuale pari a 40, con moltissimi valori compresi tra i 20 e i 60, come si può vedere anche in mappa.



V4 – Disagio Occupazionale Normalizzato su GRID

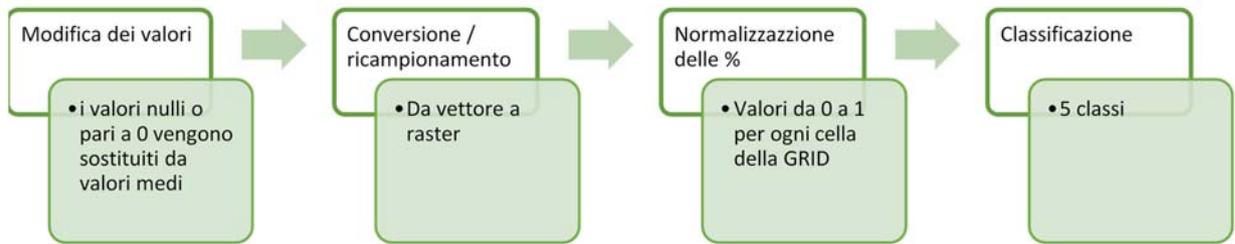


Figura 4-51: Processo per la classificazione dei valori normalizzati del Disagio Occupazionale sulla GRID
[produzione propria].

Si prosegue l'elaborazione sostituendo i valori nulli e quelli pari a 0 con la percentuale media, quantificata tra i valori che esprimono l'indicatore. Dopo aver effettuato questo passaggio si converte lo shapefile in raster, attraverso lo strumento v.to.raster.attribute, conseguendo un raster caratterizzato da celle da 1 km, ognuna delle quali descrive possiede una percentuale.

Si possono, infine, normalizzare i dati e classificarli mediante cinque categorie graduate.

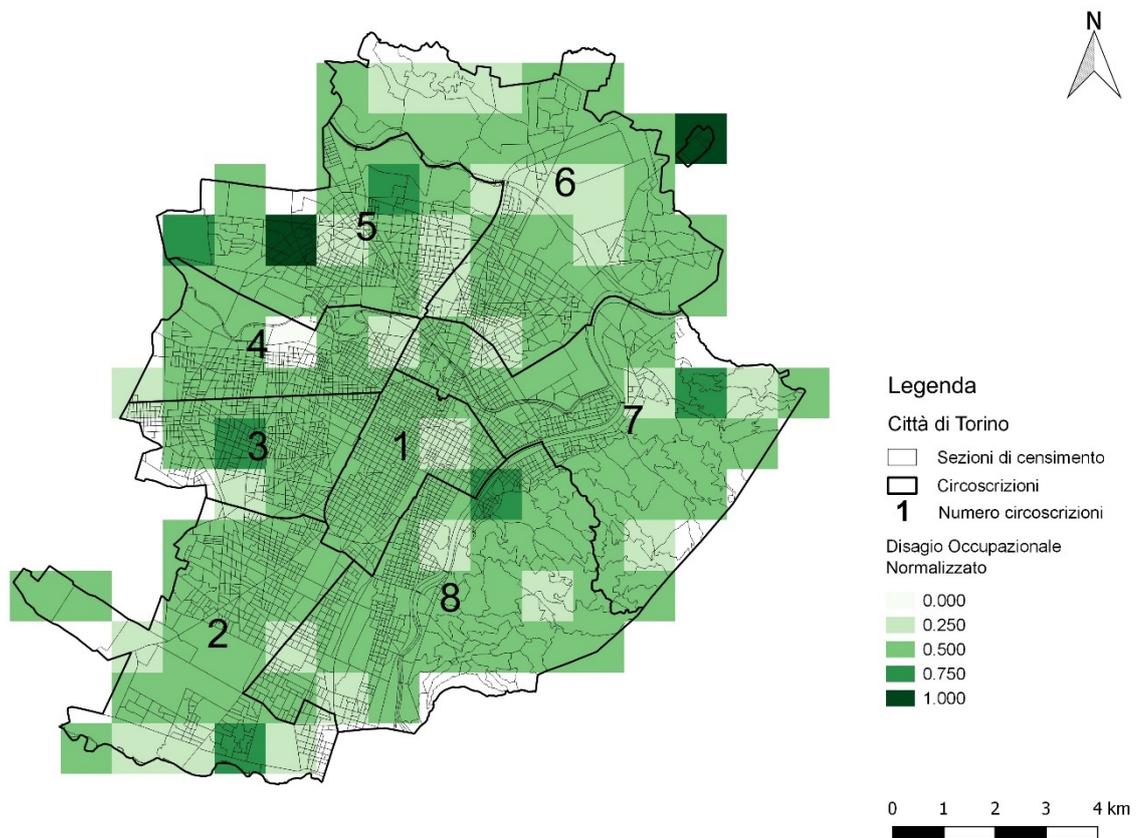


Figura 4-52: Tavola raffigurante i valori del Disagio Occupazionale o V4, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.4.5. Soggetti Bisognosi di assistenza economica

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Soggetti Bisognosi	V5	%	Bisognosi di aiuti economici	sociale	quantitativo

Tabella 4-19: Quinto indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, i Soggetti Bisognosi [produzione propria].

Un'attenzione particolare va riservata alle persone che non sono autonome e hanno bisogno di un aiuto economico dall'esterno. Tali soggetti sono malati e infermi, disabili, ma anche disoccupati. In questo caso è, quindi, necessario rivolgersi al comune di



Torino, che grazie all'Ufficio Statistica mette a disposizione e in rete l'Annuario statistico del 2015. Il capitolo 7, ovvero quello dedicato ai Servizi sociali, mostra gli individui come minori, anziani over 60 anni, adulti disabili e non e stranieri che costituiscono i beneficiari del sostegno del reddito da parte della città, compresi anche gli assegni di cura. Quest'ultimo termine va ad indicare la prestazione di supporto domiciliare per i soggetti che non sono in grado di vivere la quotidianità da soli, ma hanno bisogno di un aiuto continuo. Il totale degli assegni di cura è pari a 5.644.321,70 € mentre il totale complessivo è pari a 12.664.863,07 €. Nel primo caso il numero degli assistiti è uguale a 1.656 persone, che corrisponde al 2.3‰ (per mille) del totale dei residenti di uguale età (media dei residenti al 31/12/2014 e al 31/12/2015 – Cap. 7 dell'Annuario Statistico della Città di Torino). Per quanto riguarda, invece, il totale inclusivo degli assegni di cura corrisponde a 6.474 assistiti, in percentuale lo 0.7% del totale dei residenti di uguale età (media dei residenti al 31/12/2014 e al 31/12/2015 – Cap. 7 dell'Annuario Statistico della Città di Torino).

V5 – Soggetti Bisognosi

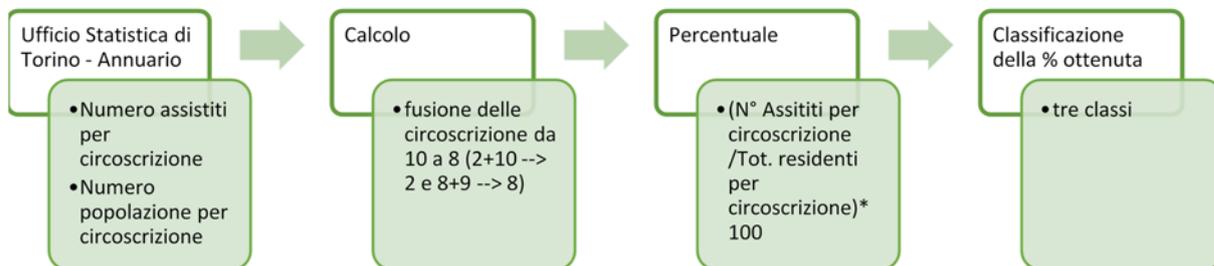


Figura 4-53: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dei Soggetti Bisognosi e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Per poter rappresentare e classificare i soggetti bisognosi di assistenza economica, è stato necessario utilizzare come base grafica non più le sezioni di censimento come per l'ISTAT, ma le circoscrizioni, siccome i dati ricavati dall'osservatorio di Torino sono suddivisi in base a quest'ultime. Inoltre sono disponibili per l'anno 2015 e quindi si preferisce utilizzare questi valori più recenti. Nella tabella dei valori non si prenderanno in considerazioni tanto i costi ma il numero di soggetti assistiti dalla città di Torino.



Circoscrizione	RIEPILOGO CIRCOSCRIZIONI		
	Assistiti	Nuclei	Spesa
1	615	471	1.009.464,40
2	714	522	1.541.551,37
3	708	532	1.418.013,91
4	462	363	1.162.925,76
5	972	647	1.945.223,19
6	1.285	771	2.082.503,13
7	674	436	1.334.887,33
8	332	228	618.370,55
9	415	329	963.912,90
10	197	148	388.650,31
Totale Città (*)	6.474	4.527	12.664.863,07

Figura 4-54: La figura mostra la tabella che rappresenta il numero di assistiti e la spesa effettuata dalla città di Torino per essi, il tutto suddiviso per circoscrizioni [Servizio statistica e toponomastica (2015), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2015. Capitolo 7: Servizi Sociali, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino*].

Una volta ricostruita la tabella in .csv, come nei casi precedenti si calcolerà la percentuale del numero di assistiti per circoscrizione sul numero totale di residenti per circoscrizione, ricavato dall'Osservatorio di Torino, del 2015, capitolo 3.

Circoscrizione	F	M	Totale
1	40.831	37.699	78.530
2	53.481	46.427	99.908
3	67.234	59.827	127.061
4	51.609	46.106	97.715
5	64.576	60.440	125.016
6	54.880	52.206	107.086
7	45.779	42.025	87.804
8	30.183	26.521	56.704
9	39.132	35.096	74.228
10	19.928	18.296	38.224
Totale	467.633	424.643	892.276

Figura 4-55: Figura rappresentante il numero di popolazione per circoscrizione della città di Torino [Servizio statistica e toponomastica (2015), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2015. Capitolo 3: Demografia, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino*].



Un ulteriore passaggio è richiesto prima di poter elaborare la mappa, ovvero bisogna sommare i valori di alcune circoscrizioni. Dal 2016, infatti, le circoscrizioni non sono più dieci ma bensì 8, poiché le precedenti seconda e decima circoscrizione sono state fuse e così è successo anche per la ottava e la nona. Basterà, perciò, sommare i dati numerici ricavati dall'Osservatorio per ottenere un valore significativamente distribuito sulle circoscrizioni attuali della città. Questo servirà per avere una lettura immediata e corrente delle aree.

È così possibile calcolare la percentuale del numero assistiti sulla popolazione totale, con la formula:

$$V5 = \frac{\text{tot. assistiti per circoscrizione}}{\text{tot. residenti per circoscrizione}} * 100$$

Il file realizzato si caricherà in Qgis dove, con la stessa metodologia utilizzata nelle elaborazioni precedenti, si otterrà la classificazione dei valori. In questo caso ovviamente i risultati mostreranno la distribuzione per circoscrizione, andando ad indicare in quale delle dieci, il numero sarà più alto e in quale più basso.

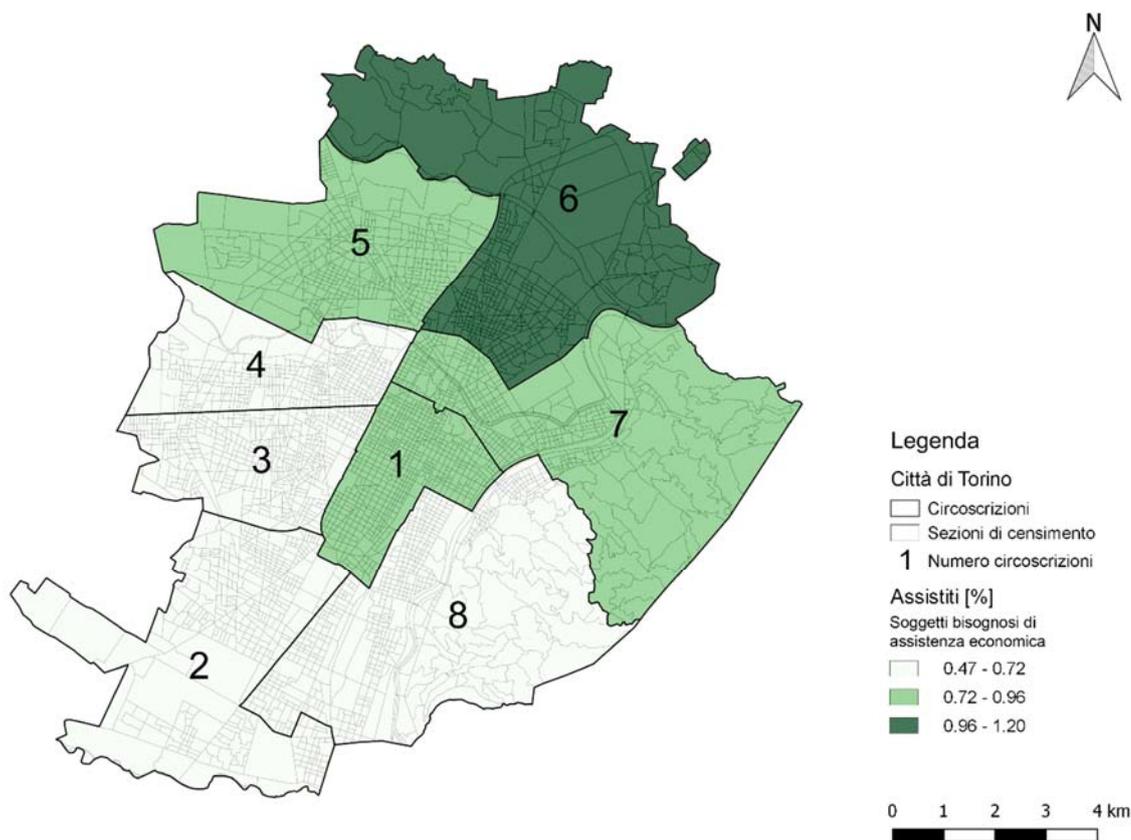


Figura 4-56: Tavola rappresentante la classificazione dei Soggetti Bisognosi, ovvero gli individui che ricevono sostegno economico da parte della città di Torino, suddivisi per circoscrizione [produzione propria su Qgis].

L'immagine risultante dimostra che la percentuale di soggetti che più usufruisce degli assegni di sostegno economico è nella circoscrizione 6. Seguono poi la circoscrizione 5, 1 e 7.

V5 – Soggetti Bisognosi Normalizzati su GRID



Figura 4-57: Processo per la classificazione dei valori normalizzati del Disagio Occupazionale sulla GRID [produzione propria].



Nonostante in questo caso l'indicatore sia stato realizzato distribuendo i valori sulle circoscrizioni e non sulle sezioni di censimento, come nei precedenti indicatori sociali, il processo che darà vita alla mappa dei valori normalizzati prevede l'utilizzo del programma v.to.raster.attribute. Da questo passaggio si ottiene un raster formato da una griglia di celle di 1 km per 1 km, che esprimono una percentuale. Non sono presenti valori nulli o pari a 0 e quindi non si effettua la sostituzione di tali valori.

Lo step successivo è quello di normalizzare le percentuali e di classificare i valori risultanti in cinque classi.

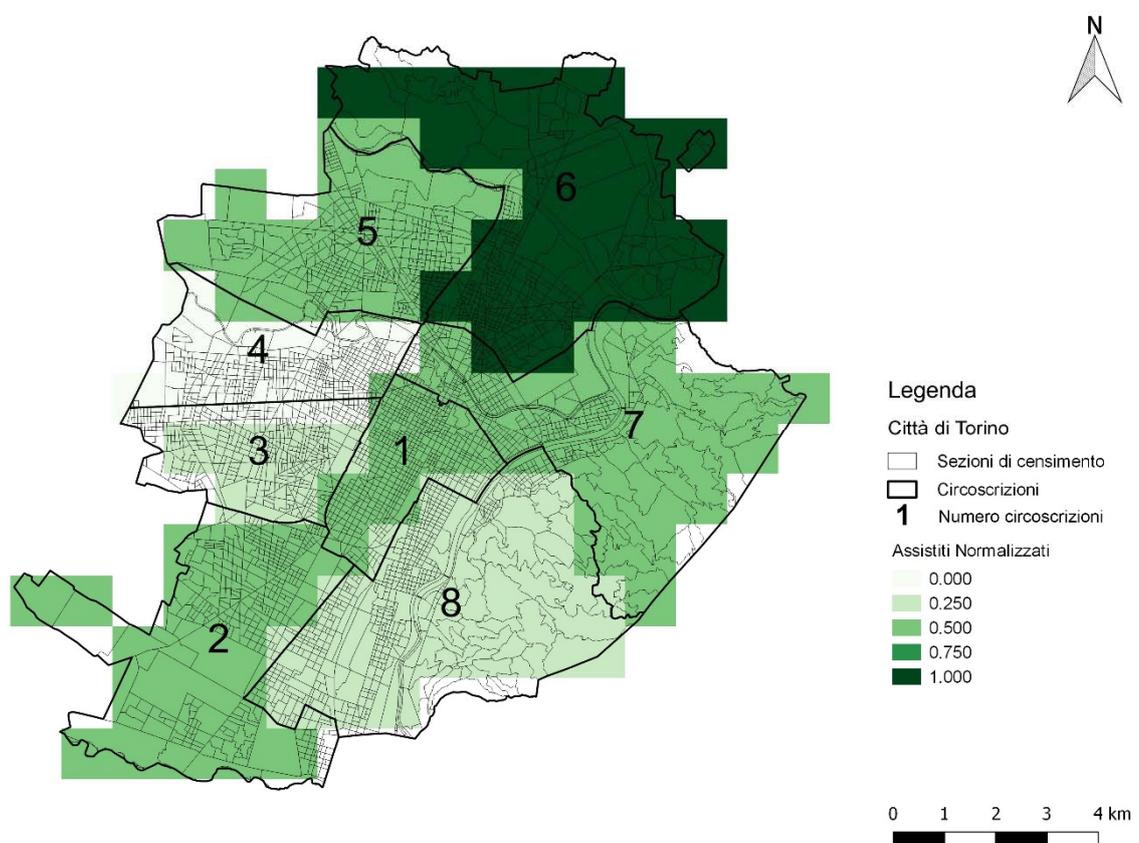


Figura 4-58: Tavola raffigurante i valori dei Soggetti Bisognosi o V5, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].



4.2.4.6. Epoca di costruzione degli edifici

I fattori di vulnerabilità socio-economica e in particolare la sensibilità personale possono essere influenzati dal luogo di residenza e lavoro. La tipologia, l'epoca di costruzione, i materiali da costruzione, il sistema strutturale e la distribuzione degli edifici costituiscono, infatti, le caratteristiche in grado di condizionare il comfort interno di un edificio. Una struttura vecchia e non ristrutturata in anni recenti potrebbe presentare per esempio scarso isolamento termico delle pareti e degli infissi, assenza di adeguate condizioni di ventilazione, come la presenza della doppia aria, impossibilità di installare macchine per il raffrescamento del clima interno quali condizionatori oppure di strumenti per ripararsi dai raggi solari diretti quali tendaggi o pergolati. D'altra parte l'installazione di condizionatori fa aumentare l'emissione di aria calda e gas nocivi, che vanno ad incrementare le temperature estreme ed impedendo il raffrescamento notturno nelle grandi città, dove il caldo ristagna tra le strade. Queste condizioni rappresentano alcune delle più frequenti caratteristiche che si possono riscontrare sia in edifici residenziali che in edifici adibiti ad uso commerciale e lavorativo, risalenti ai primi anni del '900. Ciò costituisce una situazione di disagio nel periodo estivo che aggrava le condizioni di malessere, dovute al caldo proveniente dall'esterno dell'abitazione. Se poi si combina l'assenza di protezione dal caldo nell'abitazione a quella nel luogo di lavoro, la sopportazione delle temperature estreme diventa minima. Per quanto riguarda la situazione residenziale, che si presenta molto complessa nei suoi aspetti, emerge dai dati ufficiali dell'ultimo censimento ISTAT, ovvero quello del 2011, e dalle ricerche dell'ENEA (Agenzia Nazionale per l'Efficienza Energetica) che il territorio italiano è caratterizzato da 13.6 milioni di fabbricati, di cui più dell'87% sono a destinazione residenziale, un numero pari a 11.7 milioni di edifici con oltre 29 milioni di abitazioni. Gli studi (Mutani e Vincentini, 2013 ed ENEA, 2015) mostrano, inoltre, che al 2013 la costruzione del parco edilizio risale a prima del 1976 (anno in cui è stata varata la prima legge sul risparmio energetico in Italia, la L. 373/1976 - Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.), con un'età superiore ai 40 anni.



In particolare l'ISTAT suddivide i fabbricati in 9 classi corrispondenti a:

- Edifici ad uso residenziale costruiti prima del 1919
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1919 al 1945
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1946 al 1960
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1961 al 1970
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1971 al 1980
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1981 al 1990
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1991 al 2000
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 2001 al 2005
- Edifici ad uso residenziale costruiti dopo il 2005

Considerando che le ultime due classi si possono unire, date le recenti tecniche di costruzioni e il lasso di tempo molto breve in confronto alle altre categorie, i risultati emersi dal raggruppamento delle sezioni di censimento per il territorio nazionale sono:

Epoca costruzione	N° edifici residenz.	Epoca costruzione	N°. edifici residenz.
Prima del 1919	2.152.583	Dal 1971 al 1980	1.987.904
Dal 1919 al 1945	1.388.004	Dal 1981 al 1990	1.293.902
Dal 1946 al 1960	1.658.548	Dal 1991 al 2001	788.104
Dal 1961 al 1970	1.964.379	Dopo il 2001	541.086

Tabella 4-20: Rielaborazione dei dati ISTAT del 2011 riguardanti l'epoca di costruzione dei fabbricati ad uso residenziale presenti in Italia e il rispettivo numero per ogni classe di età [<http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?lang=it> e Unità Tecnica Efficienza Energetica dell'ENEA (a cura di) (2015), Rapporto Annuale Efficienza Energetica RAEE 2015, Unità Tecnica Efficienza Energetica, Roma].

Si nota dalla tabella 4-25 come sia impattante il numero di edifici realizzati prima del 1919. Questo rappresenta un dato significativo e preoccupante allo stesso tempo, poiché significa che una quantità elevata di edifici è molto vecchia e potrebbe presentare vari problemi di adattamento al clima, con la conseguente assenza di benessere abitativo per coloro che li abitano.

Se si considera poi il caso studio dell'area urbana di Torino bisogna specificare che la città ha 900.000 abitanti e più di 40.000 edifici, diffusi su una zona di circa 130 km². Presenta una struttura morfologica tipica della maggior parte delle città italiane, con un centro storico antico e molto compatto, espansosi nel dopoguerra con nuovi isolati.



Torino mostra, quindi, un parco edilizio caratterizzato al 42% da edifici compatti e da strutture molto vecchie e quasi tutti i quartieri risultano contraddistinti da edifici in linea. Il 76% degli edifici risultano essere realizzati prima degli anni '70, mentre solo lo 0,7% sono stati costruiti dopo il 2000 (Mutani e Vicentini, 2013). Torino presenta, perciò, numeri che si differenziano dal caso generale italiano. Come visto la grande area urbana è stata sottoposta ai bombardamenti della I° e II° Guerra Mondiale e quindi, molti complessi residenziali se non addirittura interi isolati sono stati ricostruiti dopo il 1945. Il dato, perciò, che quantifica un maggior numero di realizzazioni è quello risalente all'epoca compresa tra il 1946 e il 1960, come si vede in tabella 4-26.

Epoca costruzione	N° edifici residenz.	Epoca costruzione	N°. edifici residenz.
Prima del 1919	5.178	Dal 1971 al 1980	3.349
Dal 1919 al 1945	7.516	Dal 1981 al 1990	1.080
Dal 1946 al 1960	10.146	Dal 1991 al 2001	700
Dal 1961 al 1970	7.522	Dopo il 2001	667

Tabella 4-21: Rielaborazione dei dati ISTAT sulle variabili censuarie del 2011 per le sezioni di censimento torinesi
[<https://www.istat.it/it/archivio/104317>].

Nonostante, quindi, il valore più alto sia racchiuso tra il 1946 e il 1960, ciò non assicura per forza la presenza di comfort abitativo negli edifici. In quegli anni, infatti, è stata attuata una pesante campagna di ricostruzione dopo la distruzione arrecata dalla II° Guerra Mondiale e i metodi di costruzione sono stati sbrigativi e spesso senza controllo da parte delle autorità, senza considerare che le tecnologie di lavorazione dell'epoca non erano avanzate come quelle che si utilizzano ora. Molti dei fabbricati in questione presentano ad oggi, quindi, delle grosse problematiche di inerzia termica e durante l'estate ciò si ripercuote sui residenti esposti alle temperature estreme.

L'ISTAT riporta, inoltre, tra le variabili censuarie lo stato di conservazione degli edifici, così suddividendoli:

- Edifici ad uso residenziale con stato di conservazione ottimo
- Edifici ad uso residenziale con stato di conservazione buono
- Edifici ad uso residenziale con stato di conservazione mediocre
- Edifici ad uso residenziale con stato di conservazione pessimo



La tabella 4-27 mostra, quindi, il numero di edifici residenziali e le rispettive condizioni di conservazione:

Stato di conservazione	N° edifici residenziali
Ottimo	9.458
Buono	22.500
Mediocre	3.967
Pessimo	233

Tabella 4-22: Rielaborazione dati ISTAT del 2011 sullo stato di conservazione degli edifici ad uso residenziale nell'area urbana di Torino [<https://www.istat.it/it/archivio/104317>].

I valori, sebbene non allarmanti, chiariscono che al 2011 nonostante le moderne tecnologie in uso, più di 4.000 edifici presentano ancora condizioni mediocri o addirittura pessime. Gli standard abitativi che vi si possono trovare sono, quindi, bassi e non consentono comfort o benessere abitativo esponendo gli individui ad una maggiore vulnerabilità. *****



Tabella 4-23: Sesto indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, l'Epoca di Costruzione [produzione propria].

Lo scopo della classificazione degli edifici all'interno dell'area urbana è, perciò, considerare le zone dove i fabbricati sono più vecchi e quindi meno performanti dal punto di vista termico. Un edificio deve, infatti, essere in grado di consentire un ottimale comfort in tutte le stagioni e soprattutto nei periodi in cui le temperature raggiungono

***** Bisogna prestare molto attenzione nell'analisi dei dati censuari ISTAT poiché sono complessi. All'interno di uno stesso dato potrebbero esserne inclusi altri. Ad esempio nelle categorie dell'epoca di costruzione degli edifici residenziale potrebbero esserci anche edifici che effettivamente non sono abitati, così come per le classi dello stato di conservazione. Ma questa suddivisione è impossibile da applicare per la mancanza di dati a riguardo. È giusto dire, perciò, che le analisi sono un'indicativa rappresentazione delle realtà capace comunque di mostrarne l'andamento.



livelli estremi. Siccome, quindi, solo nel 1976 è stata redatta la prima legge sull'efficienza energetica degli edifici, si è deciso di valutare i fabbricati la cui costruzione risale a prima del 1970, considerando così quattro periodi ripresi dalle classi ISTAT:

- Edifici ad uso residenziale costruiti prima del 1919, corrispondente alla colonna ISTAT E8
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1919 al 1945 o E9
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1946 al 1960 rappresentato dalla variabile E10
- Edifici ad uso residenziale costruiti dal 1961 al 1970 o E11.

V6 – Epoca di Costruzione

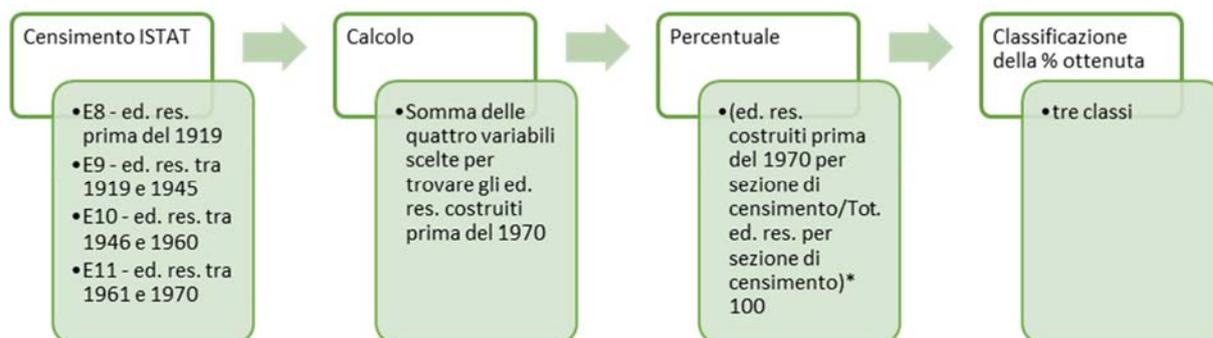


Figura 4-59: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dell'Epoca di Costruzione e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Una volta sommate le quattro categorie si calcolerà la percentuale attraverso la formula:

$$V6 = \frac{\text{tot. edifici residenziali costruiti prima del 1970 per sezione}}{\text{tot. edifici residenziali per sezione}} * 100$$

È indispensabile, quindi, ricavarsi il totale degli edifici ad uso residenziale per sezione di censimento che corrisponde alla colonna E3 delle variabili ISTAT. Costruita così la tabella si può esportare su Qgis e realizzare la classificazione graduata.

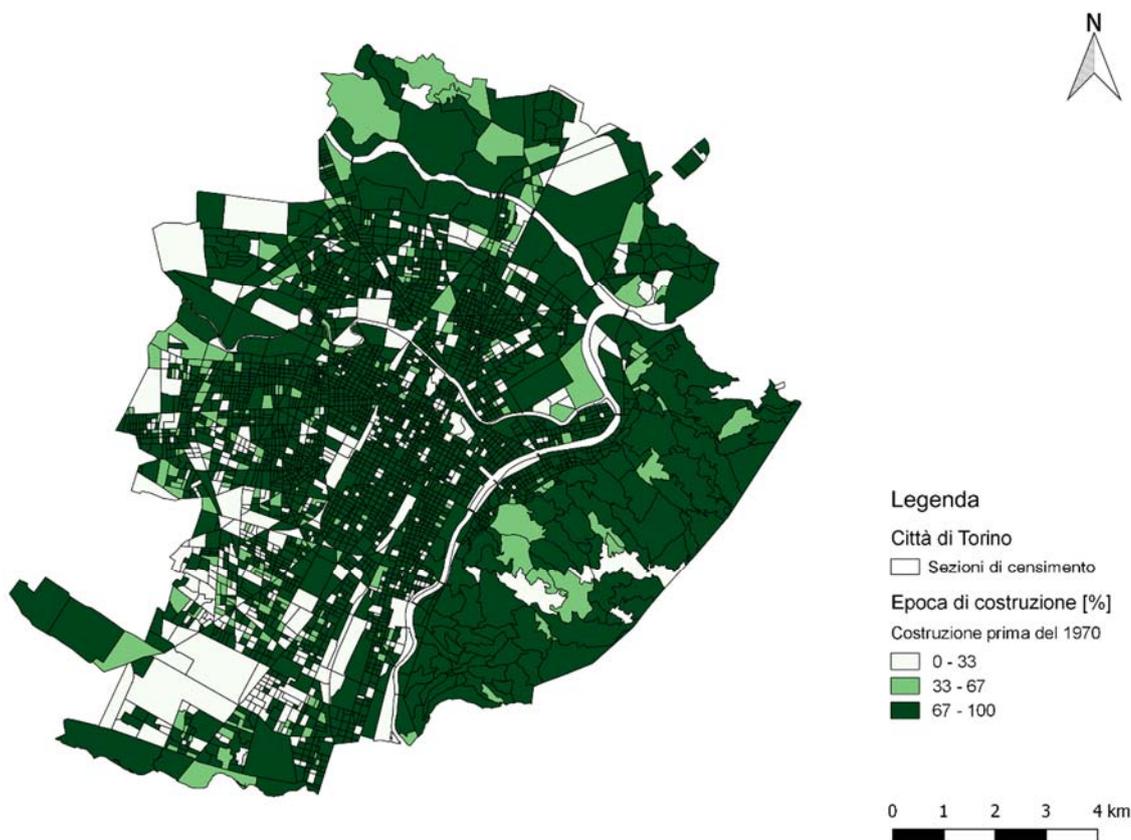


Figura 4-60: Tavola rappresentante la distribuzione degli edifici residenziali costruiti prima del 1970, suddivisi per sezione di censimento rispetto al totale degli edifici residenziali [produzione propria su Qgis].

Il risultato dimostra che vi è un grandissimo numero di edifici costruiti prima del 1970, con un elevatissimo impatti su quasi tutte le sezioni, confermando la senilità del parco edilizio torinese.

V6 – Epoca di Costruzione Normalizzata su GRID

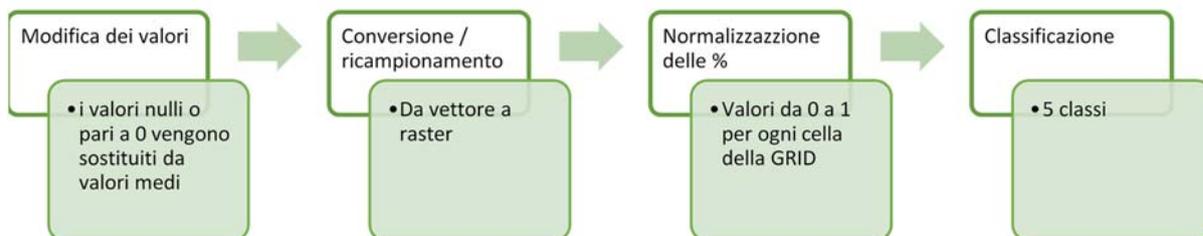


Figura 4-61: Processo per la classificazione dei valori normalizzati dell'Epoca di Costruzione sulla GRID [produzione propria].



La tabella attributi dello shapefile presenta sezioni di censimento dal valore nullo o pari a 0, che necessitano di essere rimpiazzati da una percentuale media quantificata all'interno dei valori dello stesso indicatore. Lo shapefile sarà ora completo e non presenterà problematiche in vista del ricampionamento dei dati vettoriali in raster. Utilizzando lo strumento v.to.rast.attribute ne risulta, infatti, una griglia di celle da 1km che dimostrano ognuna una percentuale, mediata sulle precedenti sezioni di censimento.

L'ultimo step è la normalizzazione e poi la classificazione in cinque classi dal colore graduato.

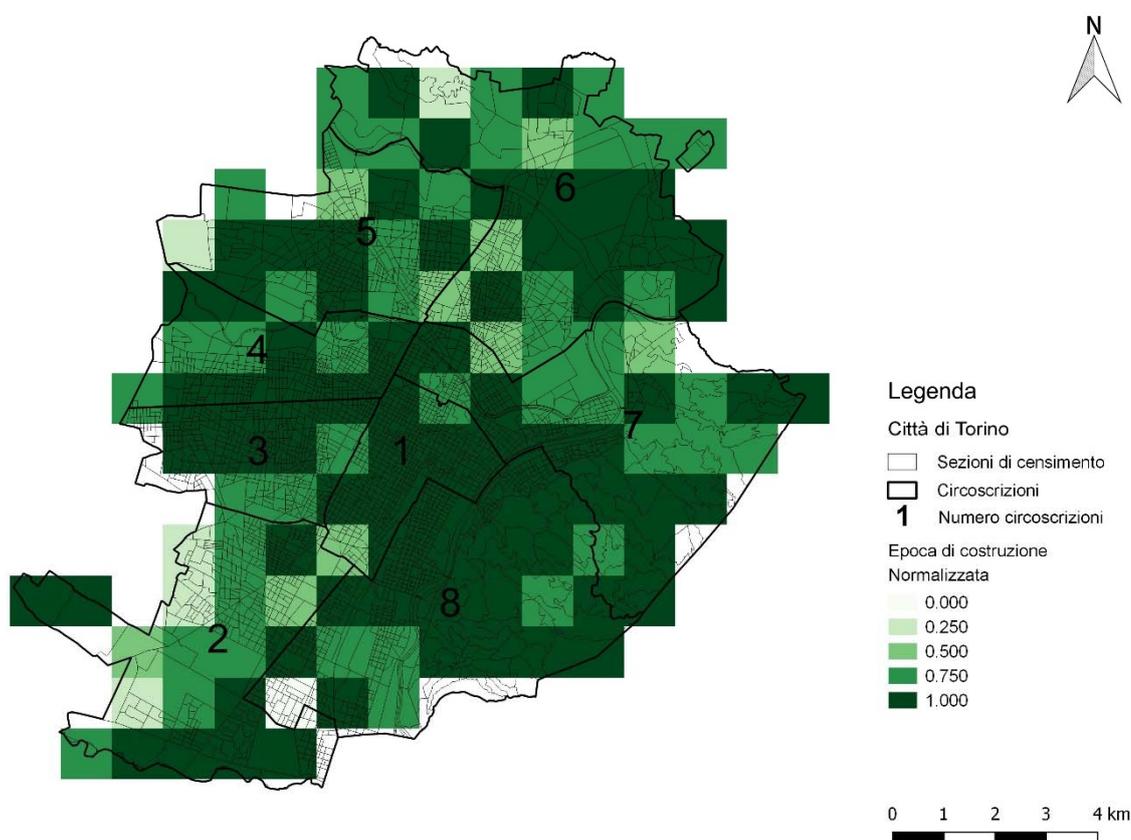


Figura 4-62: Tavola raffigurante i valori dell'Epoca di Costruzione o V6, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].



4.2.4.7. Consumo di suolo

Per consumo di suolo si intende quella variabile che esprime la perdita di suolo naturale attraverso la realizzazione di fabbricati e la densificazione di edifici entro un'area urbana. In particolare nell'analisi della vulnerabilità risulta utile per comprendere la densità dell'edificato. In aree, infatti dove la densità è più alta, vuol dire che gli edifici nell'area saranno particolarmente addossati non consentendo la presenza di molte aree aperte e verdi, ma anzi impedendo la ventilazione e il raffrescamento. Un edificato molto denso permette ai raggi solari di ristagnare tra i palazzi, incrementando il calore e l'effetto serra al di sopra della area urbana.

L'Ispra nel 2016 ha pubblicato all'interno del XII° Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano alcuni dati molto significativi sul consumo di suolo. Per quanto riguarda la percentuale di suolo consumato a Torino nel 2015, essa ha raggiunto il 63%, mentre la superficie consumata totale è pari a 8.000 ettari. La compattezza urbana, è, infine, espresso tramite il Largest Class Patch Index, che quantifica la percentuale dell'area totale compreso nel poligono di area costruita di dimensioni maggiori. A Torino nel 2015 ha raggiunto il valore di 78.3%.

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Consumo di Suolo	V7	%	Area consumata	fisica	quantitativo

Tabella 4-24: Settimo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, il Consumo di Suolo [produzione propria].

Il consumo di suolo è, però, un indicatore molto discusso e in passato non si è facilmente trovato un accordo su come calcolarlo, considerando che ancora non è stata emendata una legge finale sull'argomento. Ad ora l'Ispra, come visto prima, è l'ente che ha pubblicato dei dati concreti sull'intera Italia, determinando valori specifici per i capoluoghi di regione e delle ex province. Ma questi valori non possono essere utilizzati per l'analisi della vulnerabilità sulle circoscrizioni poiché i dati sono misurati a



vasta scala. Pertanto sono stati utilizzati i dati forniti dalla Regione Piemonte e riferiti all'anno 2013. Il dato regionale è costituito da un file shape su Qgis comprendente il consumo di suolo sull'intero territorio piemontese, scaricabile sul Geoportale Piemonte. Il file è stato elaborato partendo dall'edificato e dalle infrastrutture distribuite sul territorio. Vi è stato applicato poi un buffer che unisce gli edifici e le strade, ritagliato successivamente da un contro-buffer, in grado di eliminare le informazioni eccessive e che andrebbero ad alterare i risultati. Su questa base si è svolta l'elaborazione per capire dove il suolo della città di Torino è più costruita e quindi vi è un maggior consumo di suolo.

V7 – Consumo di Suolo

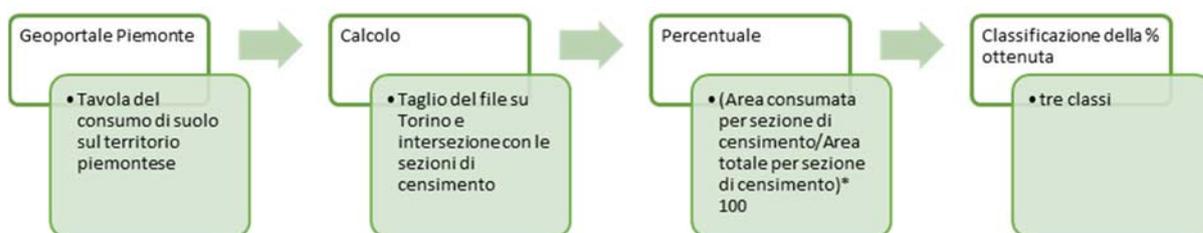


Figura 4-63: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa del Consumo di Suolo e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Per ottenere un risultato significativo, bisogna ritagliare il file del consumo di suolo direttamente con le sezioni di censimento su Qgis, in maniera che ad ogni sezione venga associato il consumo rispettivo di quell'area. Aprendo la tabella degli attributi è in seguito possibile calcolare geometricamente le due aree e quantificare la percentuale con la formula:

$$V7 = \frac{\text{Area consumata per sezione di censimento}}{\text{Area totale della sezione di censimento}} * 100$$

Nella tabella contenente i valori appena calcolati su Qgid, vengono uniti gli attributi alle sezioni di censimento per poi classificare i valori in tre classi.

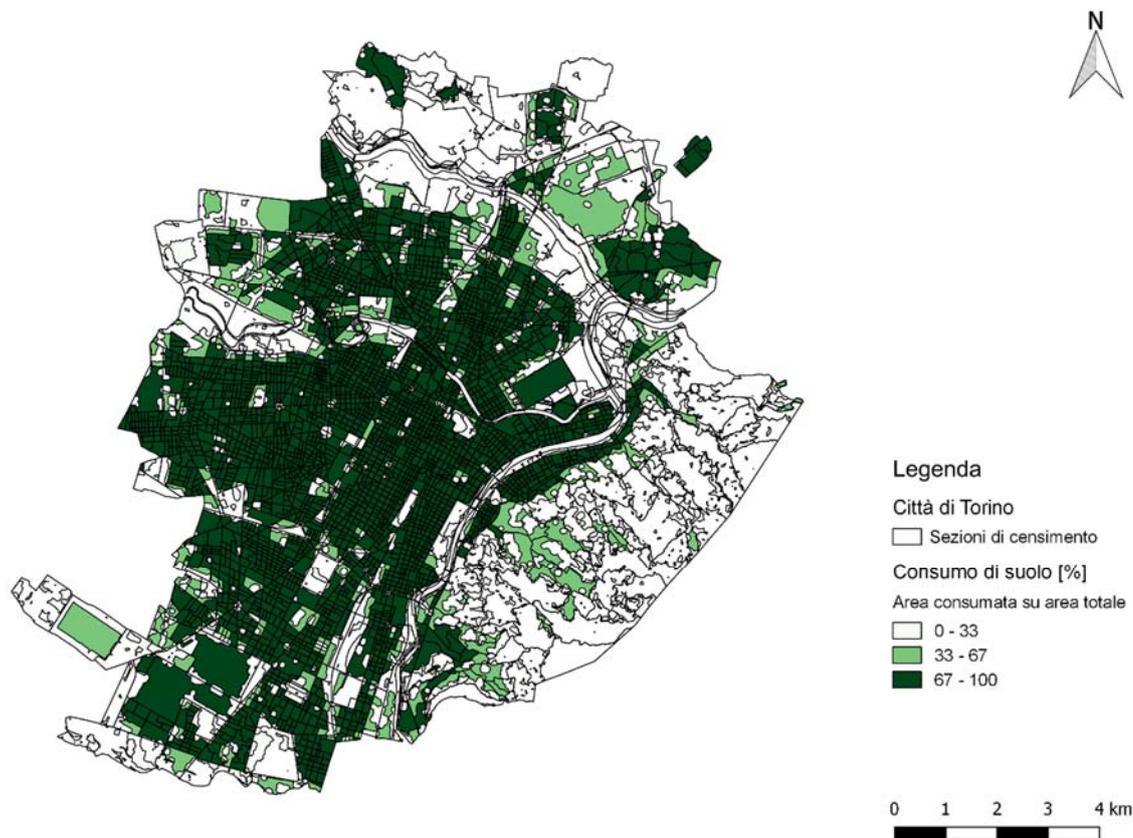


Figura 4-64: Tavola rappresentante la classificazione del Consumo di Suolo, ovvero la percentuale delle zone che rispetto all'area totale delle sezioni di censimento presentano edificato e infrastrutture [produzione propria su Qgis].

Ovviamente come ci si sarebbe aspettato il consumo di suolo è particolarmente elevato al centro città, mentre sfuma verso i confini e in collina dove il consumo è basso.

V7 – Consumo di Suolo Normalizzato su GRID



Figura 4-65: Processo per la classificazione dei valori normalizzati del Consumo di Suolo sulla GRID [produzione propria].



Come nelle elaborazioni precedenti le percentuali espresse dalle sezioni di censimento vengono rasterizzate in una griglia di celle da 1 km, ognuna delle quali andrà ad esprimere una percentuale mediata dal programma utilizzato per la conversione. Basterà, perciò, normalizzare e classificare i valori in cinque classi.

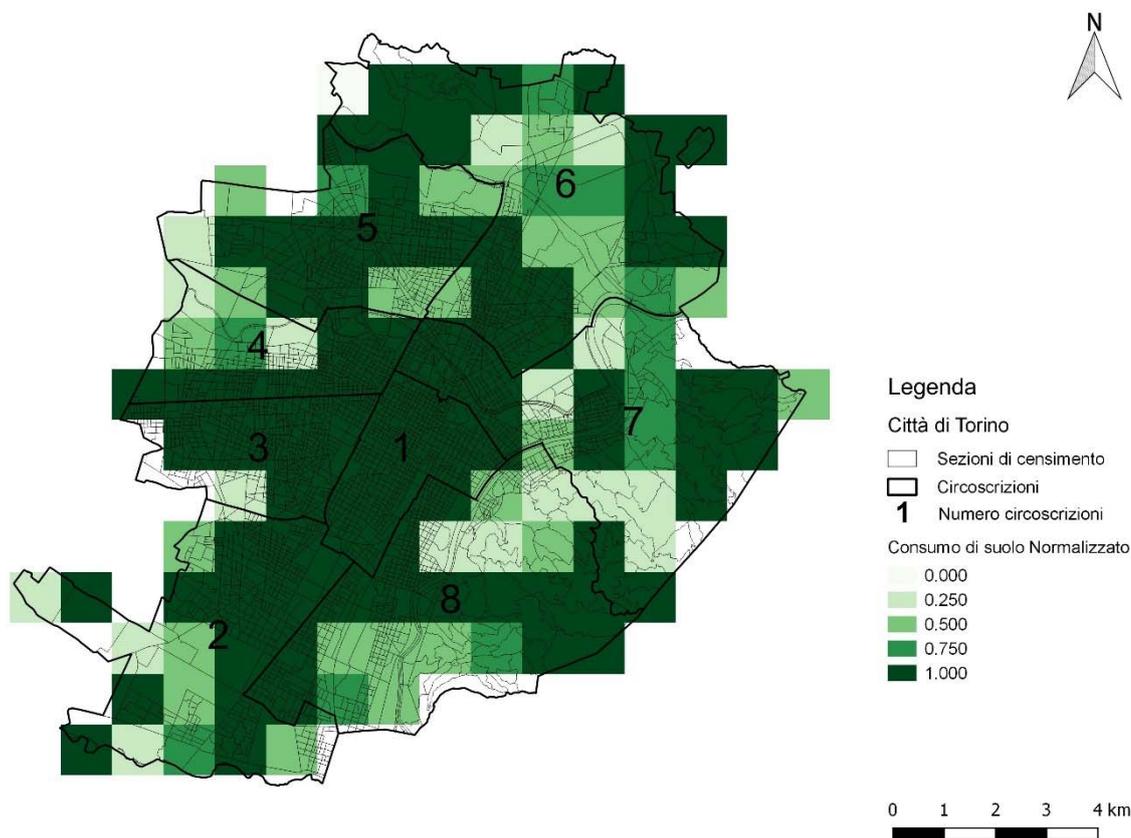


Figura 4-66: Tavola raffigurante i valori del Consumo di Suolo o V7, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.4.8. Edifici Produttivi

Gli edifici produttivi non sono un classico indicatore utilizzato per capire come le ondate di calore colpiscono il territorio. In realtà la creazione di questo indice è stata una prova utilissima, poiché si è rivelato particolarmente significativo. Bisogna pensare, infatti, che la presenza di grandi capannoni industriali incide non solo sui dipendenti per i quali costituisce il luogo di lavoro ma anche sull'ambiente circostante. Il lavoro all'interno di grande industrie, quali metal-meccanica, chimiche, metallurgiche, siderurgiche e automobilistiche, spesso espone gli operai a condizioni termiche sfavorevoli,



soprattutto nel periodo estivo quando le temperature sono già molto alte all'esterno. I soggetti si trovano a contatto con forni e macchinari che sviluppano elevate temperature e aria molto calda e per la maggior parte delle ore lavorative si trovano in posizione eretta aumentando la probabilità di effetti collaterali. Se all'interno di tali fabbricati la situazione non è rosea, all'esterno le conseguenze sono altrettanto negative. Le emissioni che vengono prodotte dalle industrie sono nocive per l'ambiente, aumentando la quantità di PM10 e ozono nell'aria, che immagazzina sempre più calore e non lo rilascia, oltre al fatto che peggiora le condizioni di salute della popolazione. Un altro aspetto da tenere in considerazione è il fatto che grossi fabbricati implicano un vasto spazio occupato e cementificato, rendendo impossibile l'evapotraspirazione, il raffreddamento dell'aria e la ventilazione. Il caldo nella stagione estiva permane nelle aree industriali rendendo le zone circostanti ancora più bollenti. Infine non bisogna dimenticare che la popolazione residente vicino alle zone industriali è nella maggior parte composta da individui appartenenti ad un ceto medio-basso, trovandosi nella periferia cittadina, e come visto una condizione economica disagiata incide molto sullo stile di vita e sull'abitazione in maniera negativa.

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Edifici Produttivi	V8	%	Edifici produttivi e commerciali	fisica	quantitativo

Tabella 4-25: Ottavo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, gli Edifici Produttivi [produzione propria].

L'indicatore Edifici Produttivi andrà, pertanto, ad indicare dove la percentuale di fabbricati industriali e commerciali è maggiore. È stato così necessario scaricare dal Geoportale Piemonte lo shapefile denominato PPR-Edificato residenziale e produttivo-commerciale (tav. P4), nel quale sono presenti tutti gli edifici della regione suddivisi in due tipologie: residenziali e produttivi-commerciali. Quest'ultima categoria sarà da selezionare, estrarre come nuovo layer e ritagliare su Torino attraverso la tabella attributi visibile su Qgis.

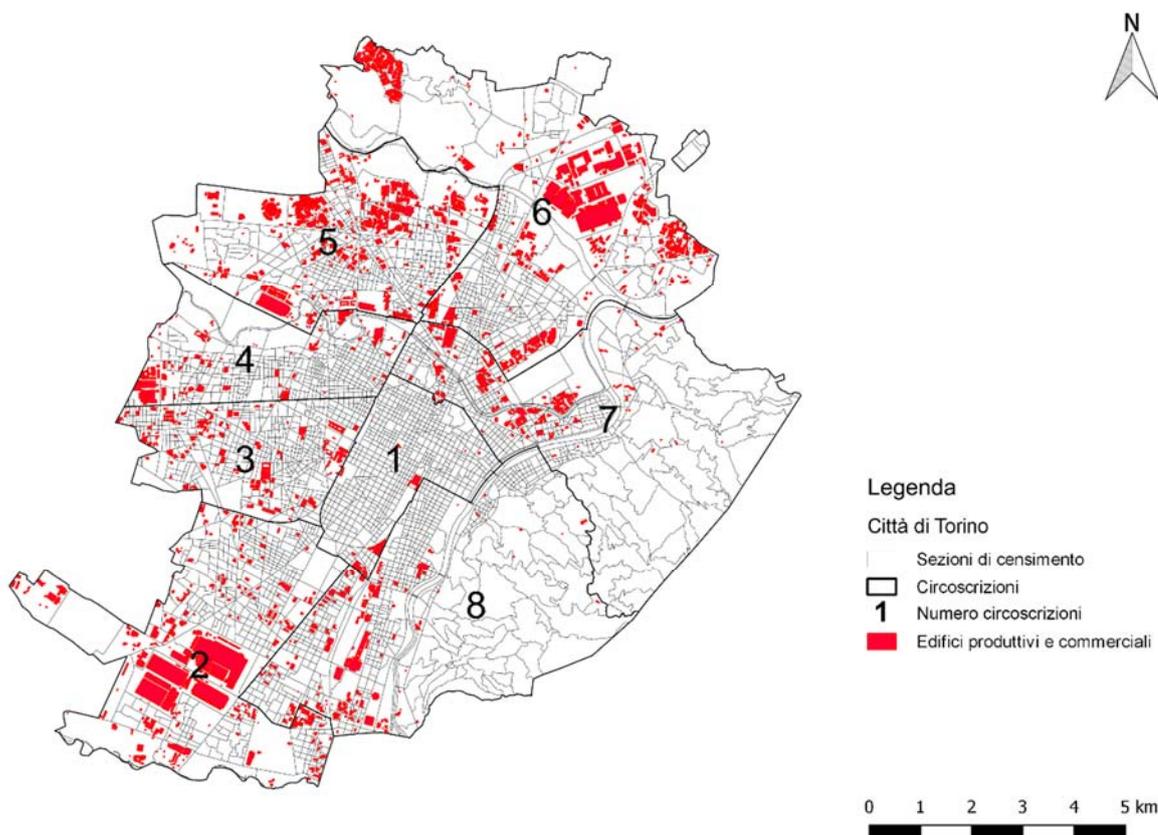


Figura 4-67: Tavola indicante gli edifici produttivi estratti dallo shapefile PPR-Edificato residenziale e produttivo-commerciale (tav. P4) [produzione propria su Qgis].

V8 – Edifici Produttivi

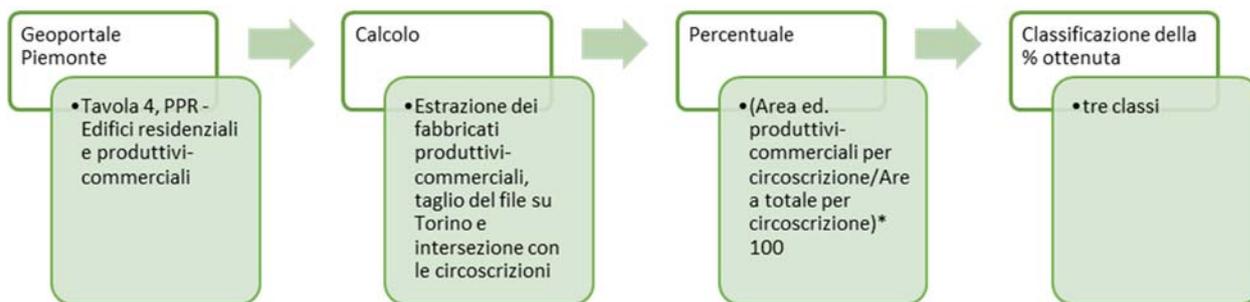


Figura 4-68: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa del Edifici produttivi e classificazione secondo tre classi [produzione propria].



In seguito all'estrazione degli stabili produttivi e commerciali, bisogna intersecare lo shapefile appena elaborato con quello delle circoscrizioni, per rendere possibile la classificazione dei valori che successivamente verranno calcolati come percentuale, attraverso la formula:

$$V8 = \frac{\text{Area edifici produttivi e commerciali per circoscrizione}}{\text{Area totale per circoscrizione}} * 100$$

Come si vede dalla formula è necessario possedere due dati, ovvero l'area occupata dagli edifici industriali per ogni circoscrizione e l'area totale di ciascuna di esse. Per quanto riguarda quest'ultima variabile è già presente all'interno del file scaricato dal Geoportale del comune di Torino. L'area dei fabbricati è, invece, facilmente ricavabile creando una nuova colonna nella tabella attributi e quantificando per ogni edificio l'area mediante il calcolatore dei campi e il comando \$area. Questo conteggerà l'area per ogni riga. Siccome le righe corrispondenti agli edifici sono tante e differenti per ogni circoscrizione, è bene farne la sommatoria attraverso lo strumento analisi statistiche di base presente su Qgis per scovare l'area totale di tutti gli edifici in ciascuna circoscrizione. I valori risultanti si possono inserire nella tabella attributi delle circoscrizioni creando una nuova colonna e inserendo il valore risultante dalla somma. In questo modo si potrà osservare un valore univoco per ogni circoscrizione. Terminati questi passaggi si applica la formula della percentuale, classificando poi i risultati in tre classi.

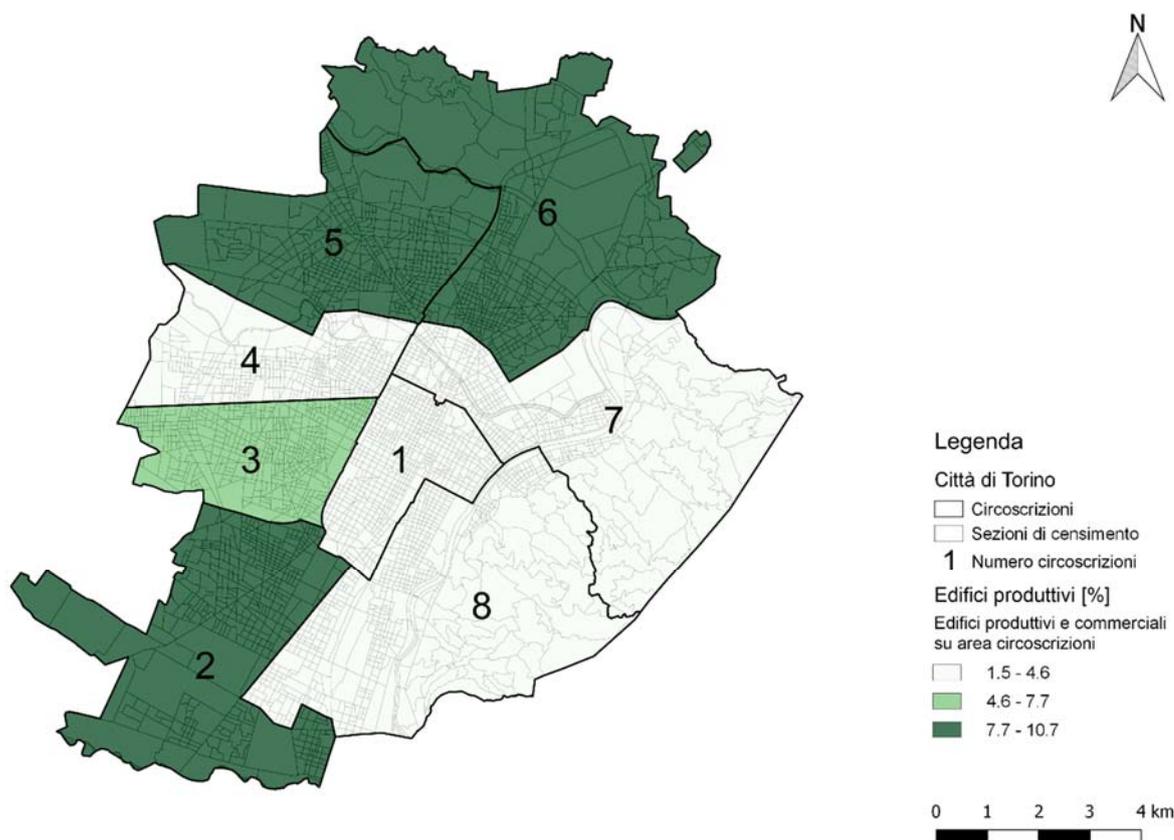


Figura 4-69: Tavola rappresentante la classificazione degli Edifici Produttivi, ovvero la percentuale di edifici produttivi-commerciali per circoscrizione rispetto all'area totale di ogni circoscrizione [produzione propria su Qgis].

La mappa mostra delle percentuali molto alte a nord, precisamente nelle circoscrizioni 5 e 6 e a sud nella circoscrizione 2, dove gli edifici produttivi sono particolarmente presenti ed evidenti.

V8 – Edifici Produttivi Normalizzati su GRID



Figura 4-70: Processo per la classificazione dei valori normalizzati degli Edifici Produttivi sulla GRID [produzione propria].



Come per i precedenti indicatori, in questa fase è necessario convertire le percentuali, quantificate nella fase precedente per ciascuna circoscrizione, in un raster, ricampionando i valori in celle da 1km.

Si possono, infine, normalizzare le percentuali e ottenere dei dati racchiusi tra 0 e 1, che verranno in seguito classificati in cinque categorie.

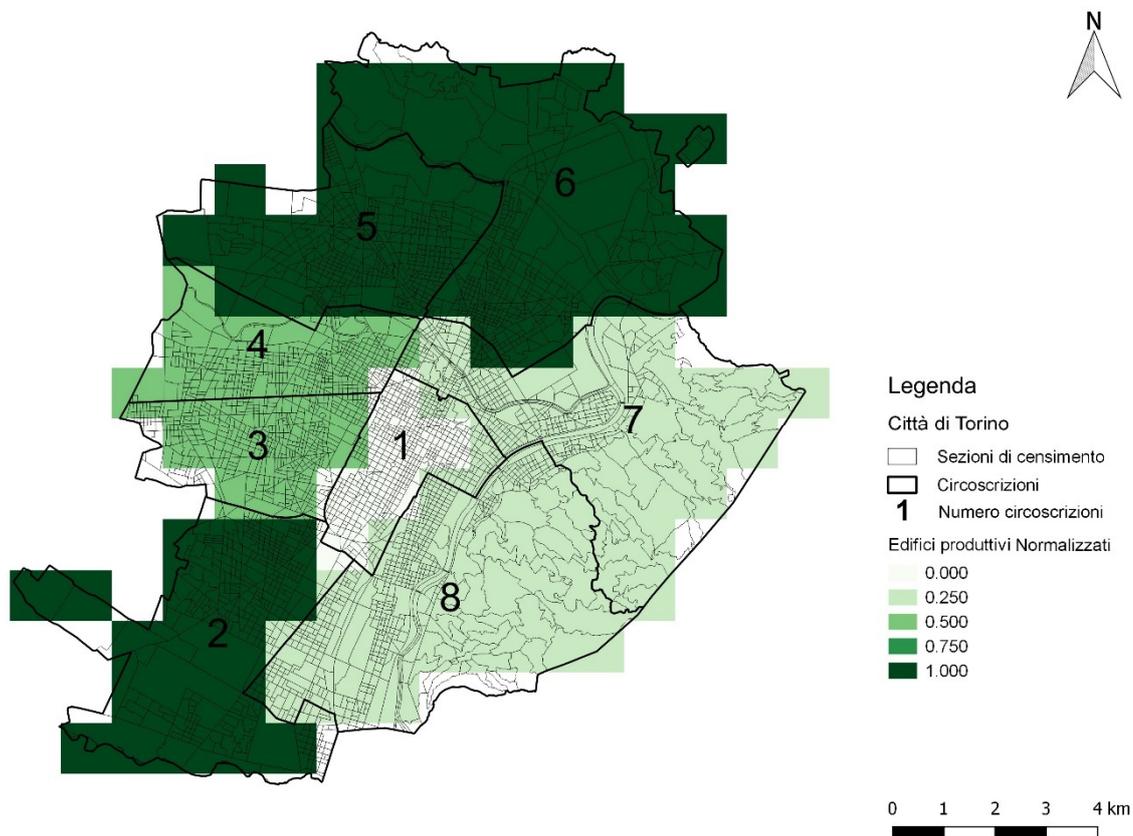


Figura 4-71: Tavola raffigurante i valori degli Edifici Produttivi o V8, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.4.9. Prezzo Medio di Offerta

Si è deciso di utilizzare il prezzo medio di offerta per studiare la distribuzione del reddito della popolazione sul territorio. Non è stato possibile usufruire, infatti, dei dati relativi propriamente al reddito suddivisi per circoscrizioni o sezioni di censimento, poiché si parla di un valore riferito a livello dell'intera città. Ciò non ha impedito l'analisi, poiché, il reddito è un indicatore significativo del contesto di rischio con il quale i soggetti si



rapportano. Un reddito molto basso comporta, infatti, una condizione abitativa e una situazione di comfort disagiati. Per questo, dato che si parla anche di condizione abitativa, il reddito spesso è rappresentato dal prezzo di vendita del residenziale. I prezzi più bassi andranno, quindi, ad indicare dove la popolazione è più a rischio. Si deve riflettere, infatti, sul fatto che un valore immobiliare residenziale basso comporta un reddito basso e la scarsa possibilità di poter procurarsi macchinari per migliorare il confort abitativo. Un valore immobiliare basso definisce, quindi, una condizione disagiata di vita. Per questo motivo si ricercano i valori inferiori e non quelli più alti, determinando così l'analisi dei valori immobiliari al complementare e quindi dove si presentano più bassi, al contrario degli altri indicatori dove i valori significativi erano quelli alti.

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Prezzo medio di offerta	V9	€/mq	Prezzo medio di residenziale usato	fisica	quantitativo

Tabella 4-26: Nono indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, il Prezzo medio di offerta [produzione propria].

Per ottenere i valori immobiliari è stato necessario rivolgersi all'OICT, ovvero l'Osservatorio Immobiliare della Città di Torino, attraverso l'utilizzo dello shapefile contenente le microsezioni immobiliari.

La scelta è ricaduta sui prezzi misurati in €/mq del segmento residenziale usato. Non si è optato, infatti, per il segmento ristrutturato o nuovo poiché quello usato è maggiormente rappresentativo della condizione più vulnerabile. Situazione costituita da edifici vecchi e spesso in condizioni pessime ed epoca di costruzione poco recente che prevede tecniche costruttive non in grado di consentire un'adeguata protezione nel contesto climatico estivo. In particolare si è preferito usare il prezzo medio di offerta, essendo un valore contenuto tra le classi estreme minime e massime.



V9 – Prezzo medio di offerta



Figura 4-72: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa del Prezzo medio di offerta e classificazione secondo tre classi complementari, ovvero dove i valori sono più bassi [produzione propria].

In questo caso non è stato necessario calcolare la percentuale, ma è bastato associare i prezzi medi di offerta per il segmento usato ad ogni microzone censuaria corrispondente. L'unica attenzione da prestare è la classificazione contraria e quindi al complementare dei valori. La mappa, dovrà presentare, così, colori molto scuri corrispondenti a valori bassi e viceversa graduazione di colore chiaro in corrispondenza di prezzi alti.

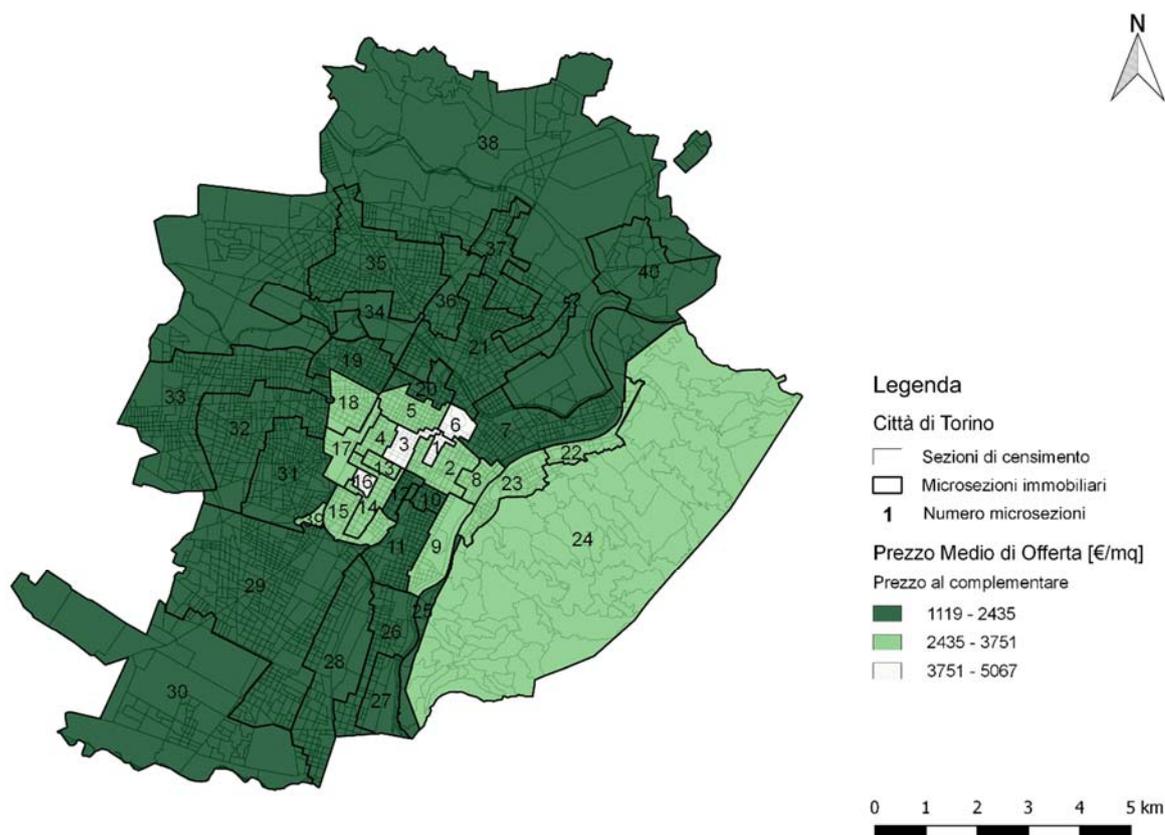


Figura 4-73: Tavola rappresentante la classificazione del Prezzo medio di offerta, ovvero il complementare dei valori espressi in €/mq [produzione propria su Qgis].

Dalla mappa emerge come le zone centrali della città e la collina mostrano valori molto alti mentre a Nord e a Sud del territorio i prezzi sono molto inferiori.

V9 – Prezzo medio di offerta Normalizzato su GRID

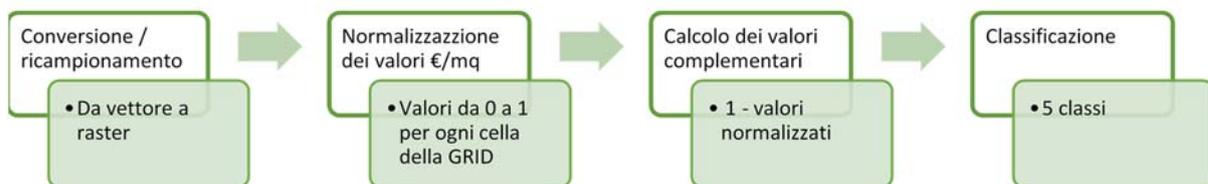


Figura 4-74: Processo per la classificazione dei valori normalizzati del Prezzo medio di offerta sulla GRID [produzione propria].



I valori in €/mq ottenuti dalla precedente elaborazione sulle microzone immobiliari devono essere convertiti in raster attraverso il comando di Grass Gis chiamato v.to.raster.attribute, ottenendo una griglia di celle, in cui ciascuna possiede un valore medio in €/mq. Per ottenere, però, dei dati confrontabili con gli altri indicatori è indispensabile normalizzare i prezzi nel raster calculator, trovando dei valori compresi tra 0 e 1.

Prima di effettuare la classificazione bisogna eseguire, però, un ulteriore step per trovare i valori complementari, ovvero far in modo che i valori influenti siano quelli bassi e non quelli alti. Lo step prevede di sottrarre i valori normalizzati risultanti ad 1 (1-valori normalizzati), all'interno del raster calculator fornito da Qgis.

La classificazione può avvenire ora con cinque classi graduate.

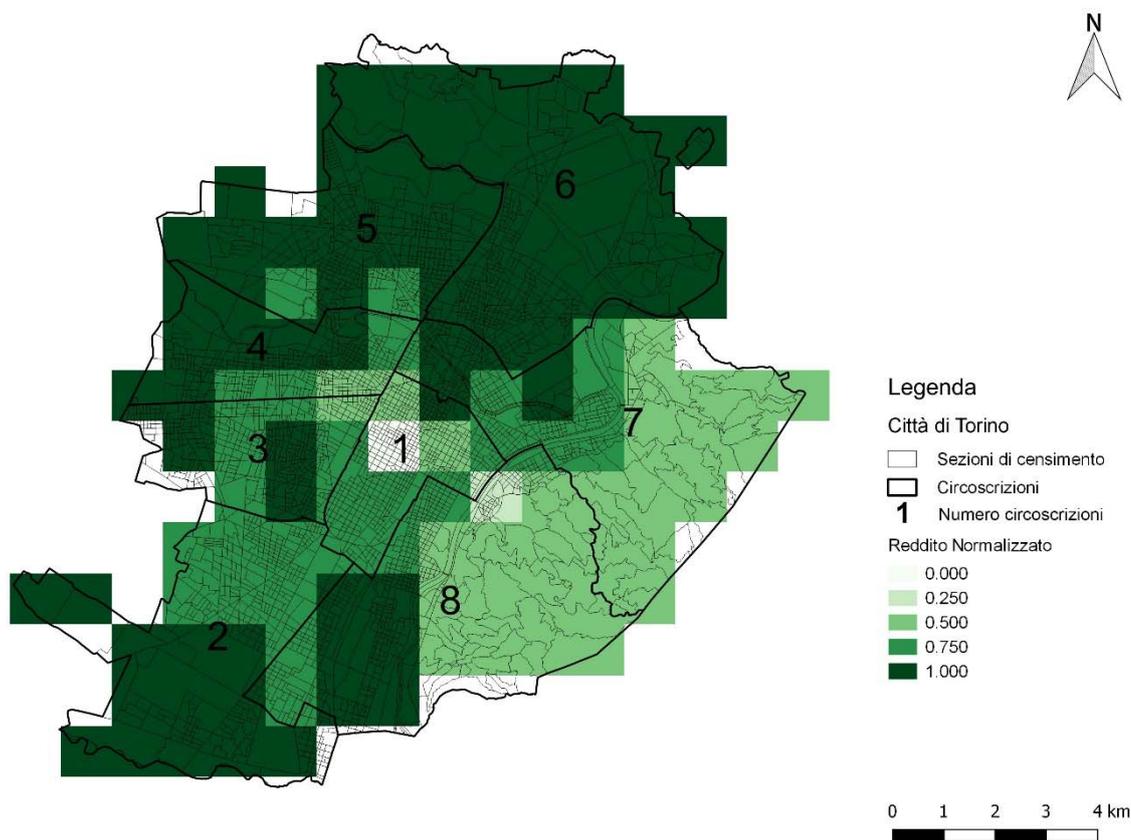


Figura 4-75: Tavola raffigurante i valori del Prezzo medio di offerta o V9, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].



4.2.4.10. Mancanza di Aree Verdi

L'indicatore che si andrà a trattare in questo capitoletto e i successivi due, fanno parte della categoria dell'adattamento. I tre indici in questione si definiscono, infatti, come "positivi", poiché possiedono lo scopo di aumentare l'adattamento e la risposta della città alle temperature estreme. Valori particolarmente alti di superfici verdi significano una vasta presenza sul territorio, comportando così un adattamento maggiore e un rischio minore. In realtà, però, si è preferito utilizzare gli indicatori all'interno della vulnerabilità in modo complementare e, quindi, leggendoli al contrario. Si concentra l'attenzione, perciò, non tanto sui valori alti che vanno a diminuire il rischio ma sui valori bassi di presenza di verde, significanti un adattamento minore e un rischio maggiore. Si considerano come dati significativi, perciò, quelli che presentano valori molto bassi, al contrario dei normali indici.

Per quanto riguarda le aree verdi molti studi ne evidenziano il ruolo fondamentale nell'adattamento alle ondate di calore e alle temperature estreme. Possiedono, infatti, un'azione mitigativa delle emissioni di carbonio prodotte dell'uomo. Il verde permette di assorbire molte sostanze inquinanti e di rilasciare ossigeno pulito, ma anche di abbassare le temperature durante la stagione estiva sia negli spazi aperti che negli edifici. All'interno delle città nella stagione estiva la temperatura è molto alta rispetto alle campagne circostanti, anche di notte. Durante le ore serali il caldo non diminuisce ma anzi rimane invariato aumentandone sempre più la pericolosità durante il giorno. La compattezza degli edifici e l'altezza incrementano la concentrazione del calore e la scarsa ventilazione, facendone ristagnare il caldo. L'evapotraspirazione consente, pertanto, di ridurre la temperatura dell'aria (Castellari et al., 2014). A Torino la percentuale di aree verdi corrisponde al 15%. Un valore più alto rispetto a molte altre città italiane (ad esempio Milano possiede 12.9 % di verde) (Ispra, 2016), ma che non è ancora sufficiente a rendere le condizioni climatiche dell'area urbana più favorevoli.



Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Mancanza di Aree Verdi	V10	%	Parchi e giardini pubblici	fisica	quantitativo

Tabella 4-27: Decimo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, la Mancanza di Aree Verdi [produzione propria].

Le aree verdi costituiscono, perciò, uno dei principali fattori a garanzia dell'adattamento dell'area urbana torinese in caso di temperature estreme, grazie al potere migliorativo delle condizioni climatiche. È importante, quindi, comprendere come il verde è distribuito all'interno della città e in particolare in quali circoscrizioni è meno presente, comportando condizioni climatiche più disagiati e di conseguenza dove il rischio aumenta. Per questo saranno presi in considerazione i valori complementari, ovvero le percentuali inferiori e non quelle maggiori, come invece avveniva nei precedenti casi.

Il primo passaggio da svolgere è, quindi, scaricare dal Geoportale del comune di Torino, il file shape delle aree verdi. Purtroppo il dato non è completo ed esclude alcuni grossi parchi. Si scarica così la carta di sintesi, sempre dal Geoportale del comune, dalla quale si estraggono le aree verdi su Qgis. Si uniscono i due layers attraverso l'elaborazione di geoprocessing.

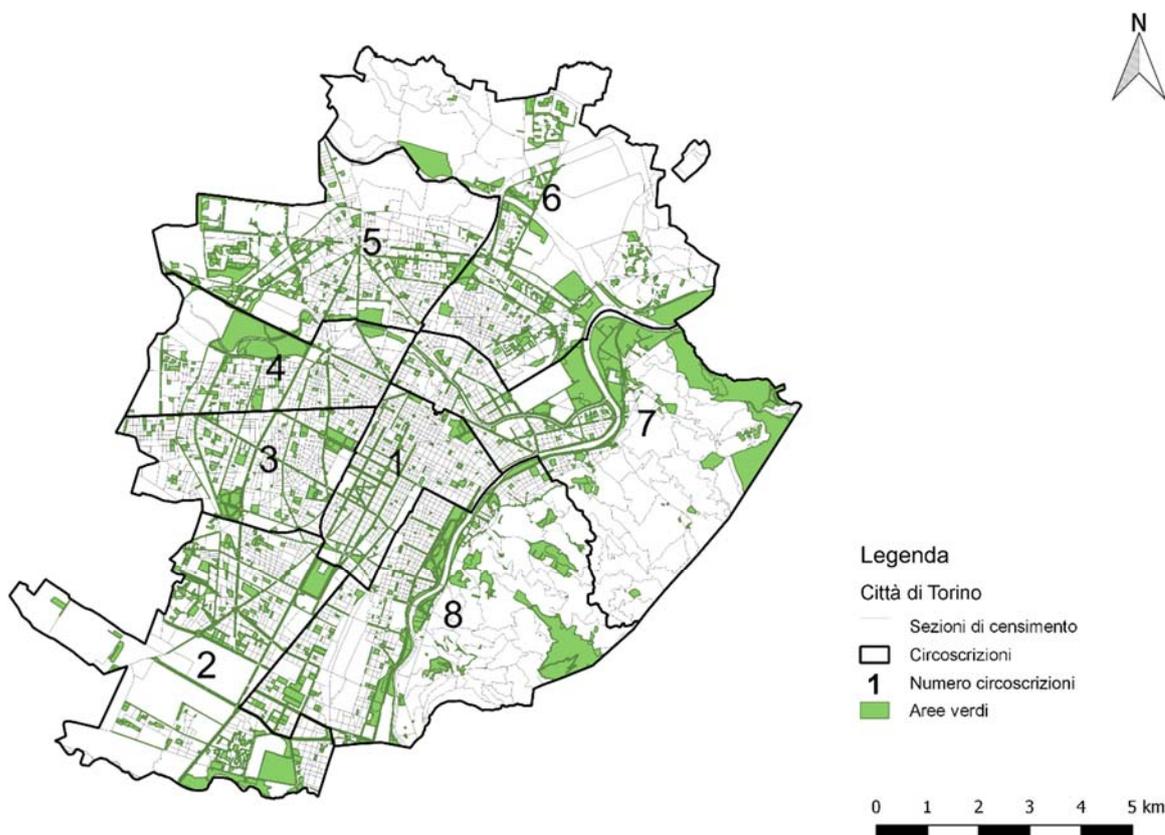


Figura 4-76: Tavola rappresentante la distribuzione delle aree verdi nel comune di Torino [produzione propria su Qgis].

V10 – Mancanza di Aree Verdi

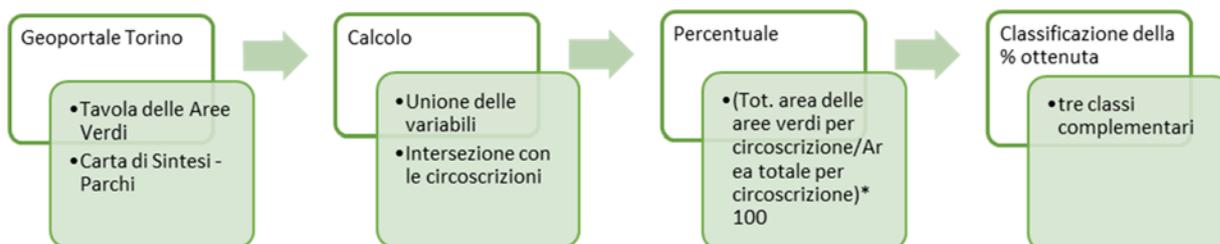


Figura 4-77: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa della Mancanza di Aree Verdi e classificazione secondo tre classi complementari, ovvero dove i valori sono più bassi [produzione propria].

Sul file risultante si va a calcolare l'area in mq del verde urbano, attraverso la creazione di un nuovo campo nella tabella attributi. Il passaggio successivo è, invece,



l'intersezione di quest'ultimo file con lo shapefile della suddivisione delle circoscrizioni, in modo che ogni area verde sia associato alla circoscrizione di appartenenza. È indispensabile poi semplificare le aree, effettuando un dissolve. Per ogni circoscrizione si selezionano, poi, dalla tabella attributi i valori corrispondenti alle aree verdi e se ne quantifica numericamente l'estensione della superficie. L'ultimo step consiste nel riportare l'area su Excel e calcolarne la percentuale rispetto all'area totale delle circoscrizioni, attraverso la formula:

$$V10 = \frac{\text{tot. area delle aree verdi per circoscrizione}}{\text{tot. area delle circoscrizioni}} * 100$$

Il risultato è classificato su Qgis in maniera complementare attraverso tre classi. Ciò significa che le classi verranno visualizzate al contrario, associando i valori più bassi a colori scuri e intensi e viceversa. Le tre classi indicheranno quindi dove la percentuale di aree verdi è più bassa e dove la vulnerabilità nella popolazione aumenta.

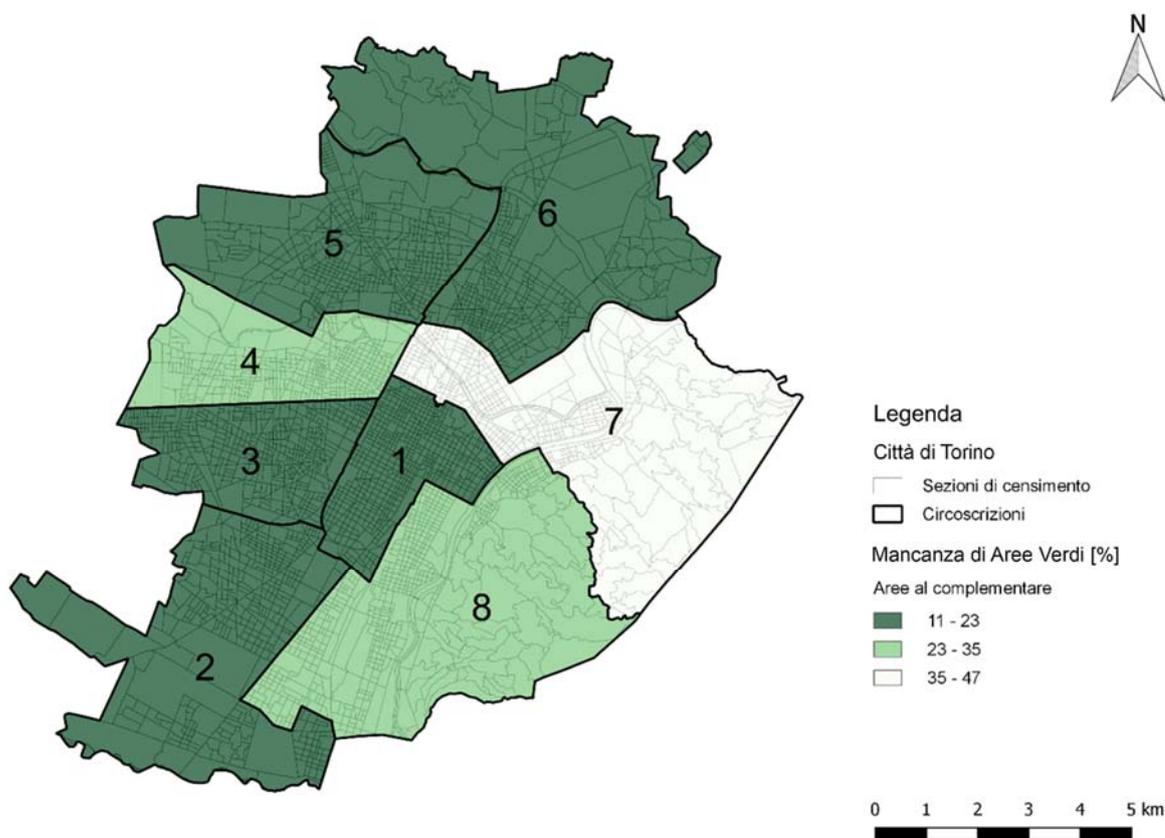


Figura 4-78: Tavola in cui viene mostrata la classificazione della percentuale della Mancanza di Aree verdi per circoscrizione. Da leggere in maniera complementare, assegnando maggiore significatività ai valori bassi corrispondenti, infatti, a colori scuri [produzione propria su Qgis].

La tavola dimostra che le aree verdi sono maggiormente presenti nella circoscrizione 8 dove è situato il parco del Valentino e nella circoscrizione 4 in cui è localizzato il parco pubblico della Pellerina. Ancora più elevate sono le percentuali nella circoscrizione 7 per la presenza della collina. In queste circoscrizioni i valori sono, però, poco influenti poiché vanno ad aumentare l'adattamento e a diminuire al rischio, ma nell'analisi serve comprendere dove i dati vanno, invece, ad incrementare la vulnerabilità e quindi nelle zone centrali della città, a nord e a sud, dove le aree verdi sono in quantità minore.



V10 – Mancanza di Aree Verdi Normalizzate su GRID

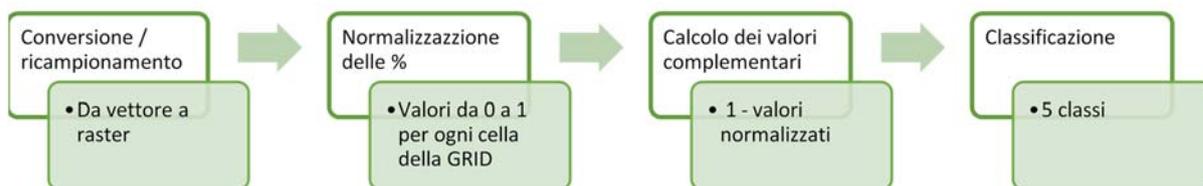


Figura 4-79: Processo per la classificazione dei valori normalizzati della Mancanza di Aree Verdi sulla GRID [produzione propria].

Le percentuali, risultanti dalla precedente elaborazione sulle circoscrizioni, devono essere rasterizzate e ricampionate rispetto alla GRID, composta da celle di 1 km. Le celle del nuovo raster conterranno ognuna una percentuale.

Prima di poter classificare i valori bisogna ancora normalizzare le percentuali, con la formula utilizzata già in precedenza: $(\text{indicatore} - \text{valore minimo}) / (\text{valore massimo} - \text{valore minimo})$. Un ulteriore passaggio è la “complementarizzazione” dei valori risultanti dalla normalizzazione, applicando nel raster calculator la formula: $1 - \text{valori normalizzati dell'indicatore}$. Ora è possibile classificare i valori complementari che andranno a mostrare con colori scuri dove i valori sono inferiori e, quindi, influiscono maggiormente sulla vulnerabilità della popolazione e della città.

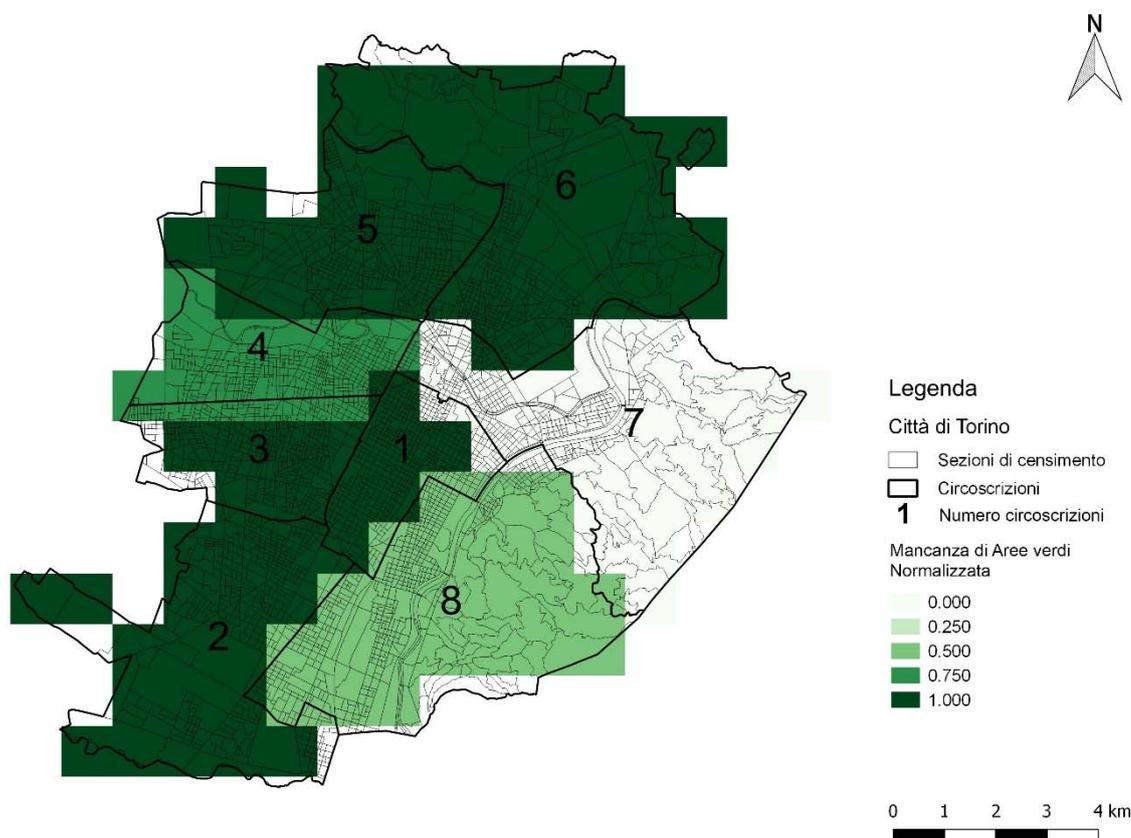


Figura 4-80: Tavola raffigurante i valori della Mancanza di Aree verdi o V10, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.4.11. Bilancio Arboreo scarso

L'indicatore che esprime la scarsità delle alberature sul territorio, come descritto nel capitolo precedente fa parte degli indici dell'adattamento ed è da considerare nella vulnerabilità in maniera complementare. Lo scopo di quest'analisi è, perciò, capire dove il bilancio arboreo urbano presenta valori bassi, aumentandone così la vulnerabilità della popolazione, nelle aree in questione.

Le alberature all'interno della città fungono, infatti, da schermatura al caldo, riducendo la temperatura. Gli alberi attraverso la chioma svolgono un ruolo ombreggiante. Questo evita l'assorbimento della radiazione solare da parte dei materiali artificiali di edifici e strade, che altrimenti l'avrebbero riversata nell'ambiente urbano durante le ore notturne. A Torino le specie arboree più richieste sono quelle robuste con un diametro della chioma e un ingombro abbastanza ampio, che in generale supera i 4 metri. Si



hanno, dunque, 102 diverse tipologie di specie in grado di svolgere le funzioni richieste. In generale il numero degli esemplari presenti sull'area urbana torinese rasenta i 57.000 esemplari (Ispra, 2016).

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Vulnerabilità	Bilancio Arboreo scarso	V11	%	Alberature e filari	fisica	quantitativo

Tabella 4-28: Undicesimo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, il Bilancio Arboreo scarso [produzione propria].

Il calcolo e la classificazione del numero di piante presente in ciascuna circoscrizione, prevede innanzitutto di scaricare dal Geoportale di Torino lo shapefile delle alberate. Una volta aperto il file dalla tabella attributi si eliminano i posti vuoti uguali a 0 e i ceppi pari al valore 2. Questi non hanno, infatti, significatività nel calcolo delle aree delle piante.

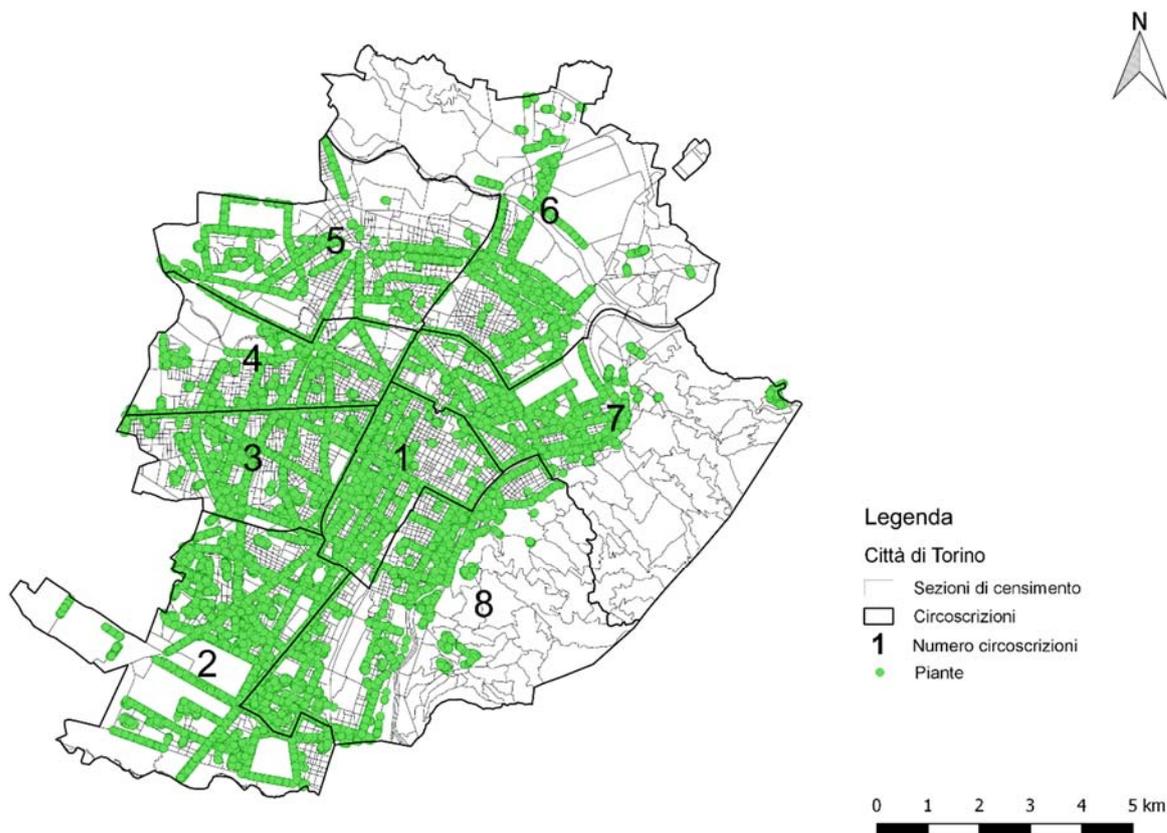


Figura 4-81: Figura indicante la distribuzione delle piante sul territorio torinese [produzione propria su Qgis].

V11 – Bilancio Arboreo scarso

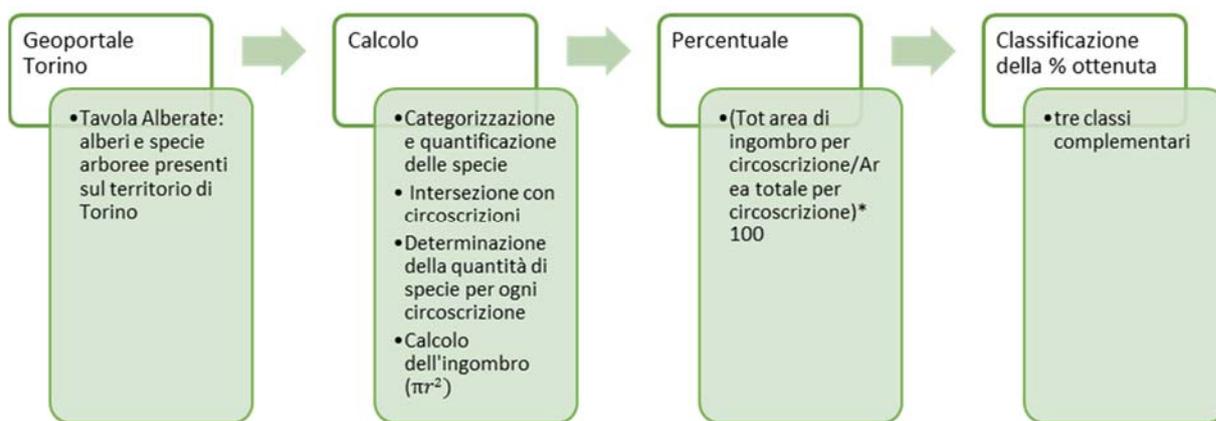


Figura 4-82: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa del Bilancio Arboreo scarso e classificazione secondo tre classi complementari, ovvero dove i valori sono più bassi [produzione propria].



È necessario categorizzare e quantificare le specie, precisando quali dimostrano un numero di presenze maggiori, attraverso la tabella attributi. Le specie che mostrano numeri irrilevanti verranno classificate sotto la denominazione "Altro". Questo step è fondamentale per poi poter attribuire ad ogni specie la larghezza media della chioma e capire quale area ricoprono, in confronto all'area totale della circoscrizione.

Specie	Numero di alberi
Altro	8.696
Acer	6.033
Aesculus Hippocastanum	3.977
Carpinus	2.292
Celtis	6.085
Fraxinus	1.152
Platanus	16.130
Populus	1.002
Prunus	1.872
Quercus	1.814
Tilia	11.279
Ulmus	1.978

Tabella 4-29: Tabella caratterizzata dalla specie della vegetazione presente in Torino e il rispettivo numero di alberi [produzione propria].

Una volta classificate le categorie arboree, si deve intersecare lo shapefile degli alberi con le circoscrizioni, così per ognuna di queste si può calcolare l'area di copertura delle piante. Ciò è ottenibile moltiplicando il numero di alberi appartenenti a ciascuna specie e ripartiti in circoscrizioni, per l'area di ingombro delle piante. Si prenderanno, però, le specie come suddivise in precedenza per evitare tipologie poco presenti sul territorio.

Circoscrizione 1	
Specie	Numero di alberi
Altro	1.531
Acer	440
Aesculus Hippocastanum	2.473
Carpinus	53



Celtis	919
Fraxinus	87
Platanus	1.620
Prunus	117
Quercus	67
Tilia	778
Ulmus	54
Circoscrizione 2	
Altro	1322
Acer	961
Aesculus Hippocastanum	206
Carpinus	436
Celtis	1269
Fraxinus	402
Platanus	4170
Populus	329
Prunus	231
Quercus	460
Tilia	2783
Ulmus	235
Circoscrizione 3	
Altro	1.133
Acer	860
Aesculus Hippocastanum	137
Carpinus	220
Celtis	1249
Fraxinus	2
Platanus	2214
Populus	16
Prunus	132
Quercus	566



Tilia	1.205
Ulmus	676
Circoscrizione 4	
Altro	989
Acer	671
Aesculus Hippocastanum	90
Carpinus	469
Celtis	656
Fraxinus	112
Platanus	1807
Populus	68
Prunus	94
Quercus	28
Tilia	1397
Ulmus	38
Circoscrizione 5	
Altro	434
Acer	568
Aesculus Hippocastanum	405
Carpinus	274
Celtis	724
Fraxinus	64
Platanus	1196
Populus	52
Prunus	507
Tilia	807
Ulmus	180
Circoscrizione 6	
Altro	721
Acer	601
Aesculus Hippocastanum	109



Carpinus	583
Celtis	444
Fraxinus	27
Platanus	1400
Populus	3
Prunus	35
Quercus	83
Tilia	1035
Ulmus	238
Circoscrizione 7	
Altro	1271
Acer	954
Aesculus Hippocastanum	164
Carpinus	39
Celtis	297
Fraxinus	259
Platanus	1532
Populus	88
Prunus	216
Quercus	163
Tilia	1734
Ulmus	336
Circoscrizione 8	
Altro	2076
Acer	964
Aesculus Hippocastanum	393
Carpinus	244
Celtis	499
Fraxinus	198
Platanus	2191
Populus	42



Prunus	508
Quercus	239
Tilia	1540
Ulmus	221

Tabella 4-30: Indicazione del numero di alberi per ogni specie e suddiviso per circoscrizione [produzione propria].

Analizzando vari documenti è stato possibile definire il diametro medio di ingombro delle chiome degli alberi associandolo ad ogni specie. In particolare per la categoria "Altro", contenente vari tipi di specie minoritari sul territorio, è stato stimato un valore medio.

Specie	Diametro di ingombro [m]
Altro	8
Acer	7
Aesculus Hippocastanum	9
Carpinus	5
Celtis	12
Fraxinus	13
Platanus	8
Populus	4
Prunus	6
Quercus	15
Tilia	10
Ulmus	9

Tabella 4-31: Determinazione dei valori di ingombro della chioma degli alberi in metri, per ogni specie [produzione propria].

Per calcolare l'area di ingombro è, perciò, necessario applicare la formula dell'area del cerchio (πr^2) possedendo, infatti, il diametro di ingombro. Eseguito questo calcolo per ciascuna circoscrizione, basterà sommare le aree risultanti per ogni specie contenute in esse. Riportato questo risultato è possibile finalmente quantificare la percentuale attraverso la formula:

$$V11 = \frac{\text{tot. area di ingombro per circoscrizione}}{\text{tot. area delle circoscrizioni}} * 100$$



L'ultimo step è importare la tabella Excel su cui si sono effettuati i calcoli e la percentuale su Qgis e unirla con il vettore delle circoscrizioni, potendo così classificare l'esito in tre gruppi. Come per le Aree Verdi, l'indicatore necessita la classificazione in maniera complementare correlando i valori più bassi, ovvero quelli che incrementano la vulnerabilità, con colori scuri e viceversa.

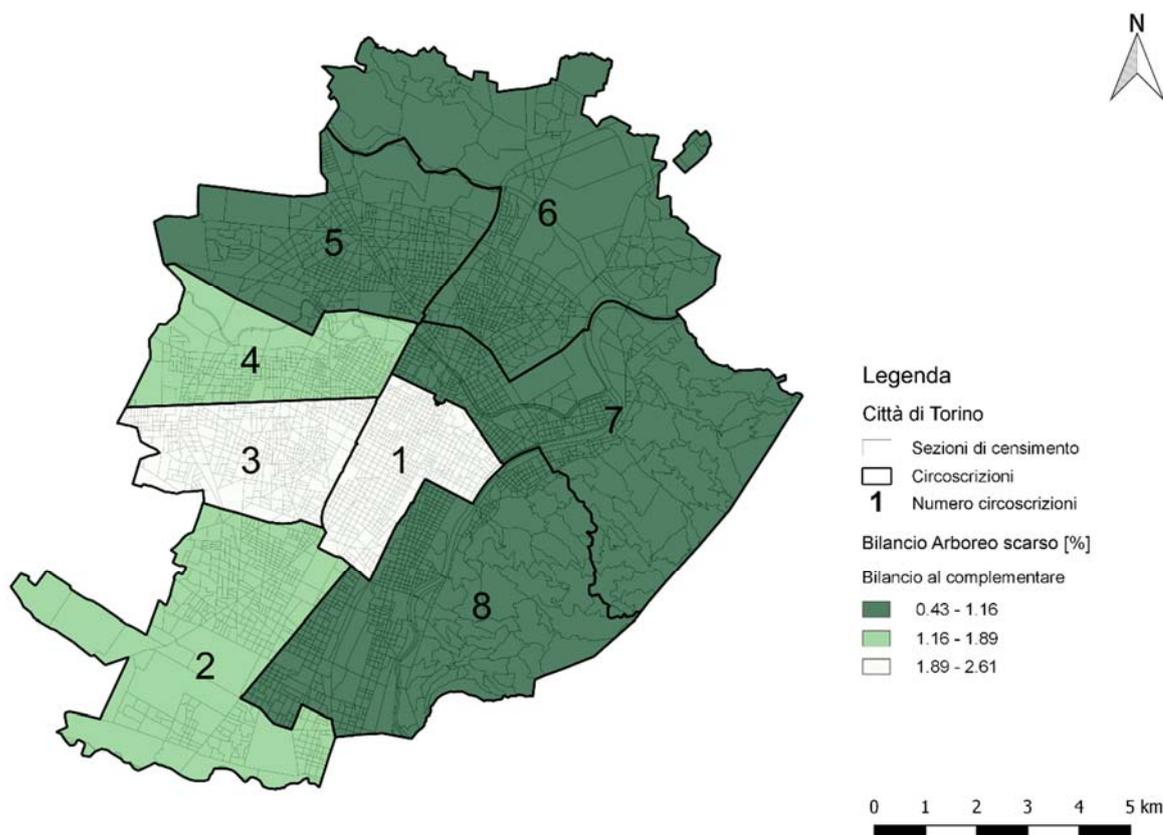


Figura 4-83: Tavola indicante la ripartizione delle percentuali di area coperta da piante rispetto all'area totale delle circoscrizioni. Dove il colore è più intenso la percentuale è minore, significando un minor numero di piante e una maggiore vulnerabilità [produzione propria su Qgis].

Il risultato dimostra come la circoscrizione 1 e 3 siano quelle con un numero maggiore di piante rispetto alla loro area totale. Se si osserva la mappa della distribuzione delle piante (fig. 4-84), si nota, infatti, come in queste due circoscrizioni siano ampiamente diffusi i viali alberati e i parchi. Bisogna, invece, sottolineare che nelle circoscrizioni 5, 6, 7 e 8 la percentuale è bassa, anche se nella realtà la circoscrizione 7 e la 8 includono



la collina che mostra una florida vegetazione. Il verde collinare, non è però, considerato dal dato di partenza scaricato dal Geoportale di Torino.

V11 – Bilancio Arboreo scarso Normalizzato su GRID

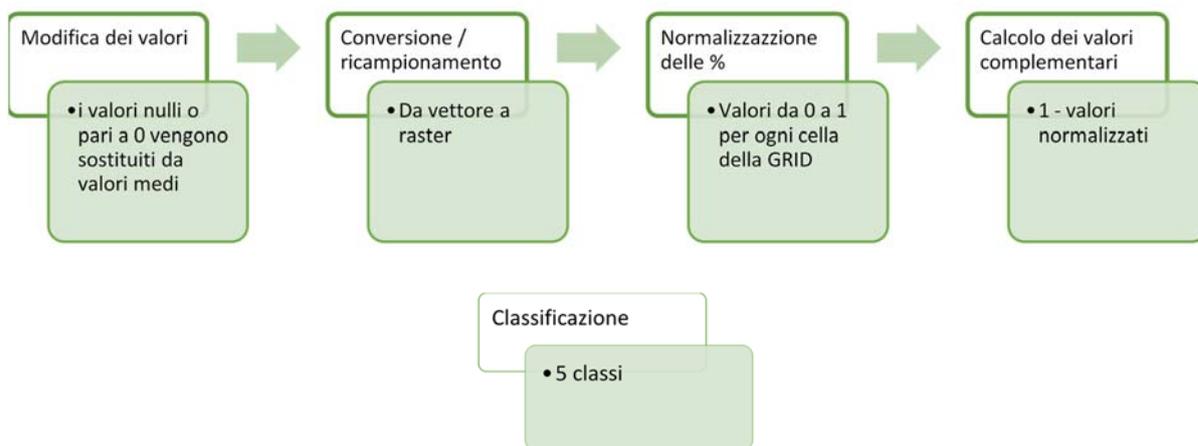


Figura 4-84: Processo per la classificazione dei valori normalizzati del Bilancio Arboreo scarso sulla GRID
[produzione propria].

In questa fase è necessario sistemare alcuni valori che si presentano errati. Il file originario delle alberature, possedeva infatti la distribuzione degli alberi su Torino ad esclusione della zona collinare. Basta però osservare la zona per capire come vi sia molta vegetazione e in particolare alberi. Per questo motivo si devono sostituire le percentuali quantificate per le due circoscrizioni che racchiudono la zona collinare, che si presentano molto basse. Al loro posto si inseriscono dei valori che possano esprimere una elevata quantità di alberature, in modo tale che, leggendo l'indicatore al complementare, non vengano alterati i risultati finali.

In seguito alla trasformazione delle percentuali, quest'ultime verranno sottoposte alla normalizzazione e in seguito i valori da 0 a 1 verranno resi complementari, sottraendo i valori ad 1. In questo modo la lettura dei valori al contrario sarà facilitato e inoltre quando verranno usati per comporre la vulnerabilità totale assumeranno un significato reale ed influenzando sul risultato.

Il risultato sarà, infine, classificato in 5 classi con colore graduato dal verde scuro al verde chiarissimo.

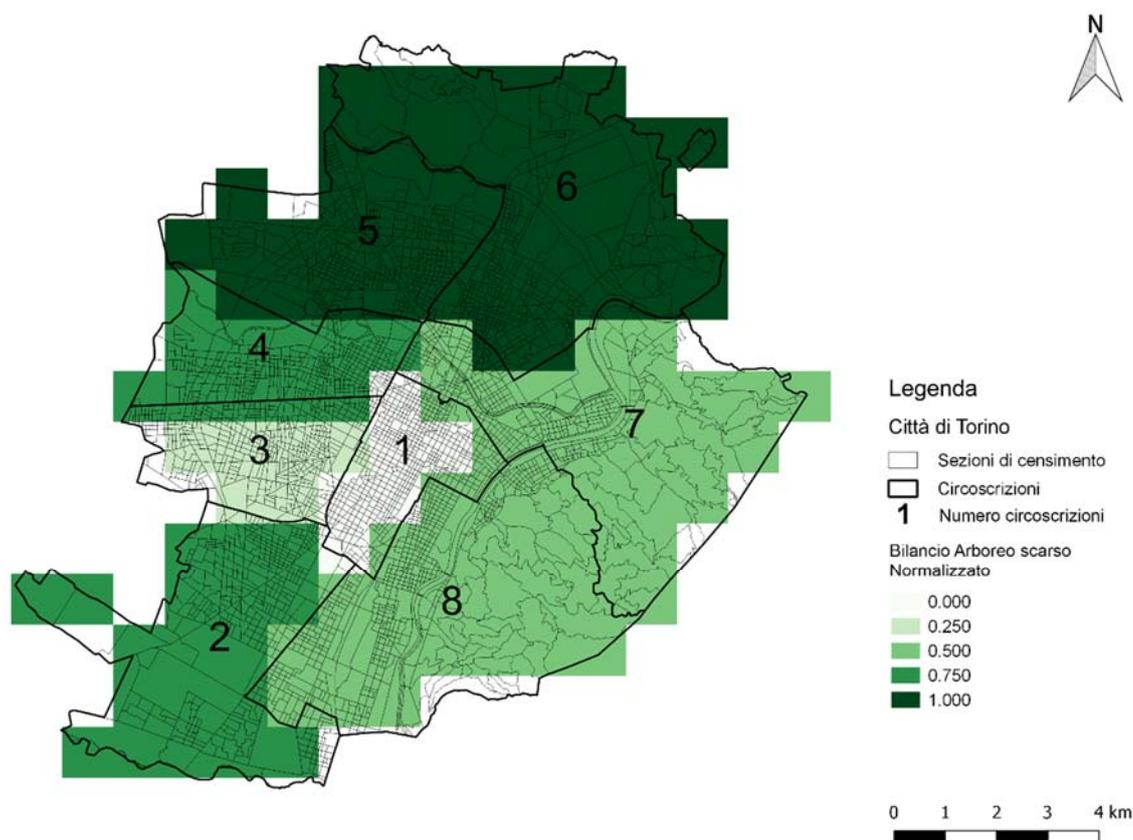


Figura 4-85: Tavola raffigurante i valori del Bilancio Arboreo scarso o V11, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.4.12. Insufficienza di Strutture di Assistenza

Questo è l'ultimo indicatore da considerare e leggere al contrario e quindi al complementare. Le strutture assistenziali in generale svolgono, infatti, una funzione di prevenzione e di aiuto per tutti coloro che sono in difficoltà e soprattutto per i soggetti più deboli e soli. La presenza, quindi, di molte strutture sul territorio favorirebbe una risposta migliore da parte della popolazione nei confronti delle ondate di calore, mentre una presenza minore condizionerebbe una situazione disagiata per gli individui. Ciò che si andrà ad analizzare è proprio questo aspetto, ovvero in quali zone le strutture di assistenza siano numericamente inferiori e di conseguenza comportino un minor adattamento nei periodi di caldo estremo, aumentando il rischio di perdite di vite umane.



Nello specifico per strutture assistenziali si intendono tutti quegli organismi atti all'aiuto e al soccorso degli individui in difficoltà. Nel caso delle ondate di calore le strutture in grado di fornire sostegno alla popolazione debole, sono gli ospedali e i pronto soccorso, ma anche gli enti socio-assistenziali. Quest'ultime possiedono lo scopo di fornire supporto fisico e psicologico ai soggetti colpiti dalle temperature estreme. Le azioni svolte sono rivolte particolarmente a coloro che sono soli o non autonomi, in modo da favorire la riduzione dell'isolamento e dell'emarginazione. Le fasce di popolazione considerate in questi casi sono gli anziani, i disabili, gli stranieri e i minori. Le strutture sanitarie sono, invece, rivolte a chiunque abbia problematiche di salute. Ovviamente più il numero è elevato ed equamente distribuito sul territorio, maggiormente la popolazione è tutelata, poiché le distanze in caso di emergenza si riducono e così gli interventi possono essere tempestivi.



Tabella 4-32: Dodicesimo indicatore che andrà a comporre la vulnerabilità, l'Insufficienza di Strutture di Assistenza [produzione propria].

L'elaborazione di questo indicatore ha previsto l'utilizzo non solo di un dato ma bensì di tre. Dal sito del Geoportale di Torino si scaricano, quindi, lo shapefile puntuale della localizzazione degli ospedali, delle strutture socio-assistenziali e infine delle farmacie.

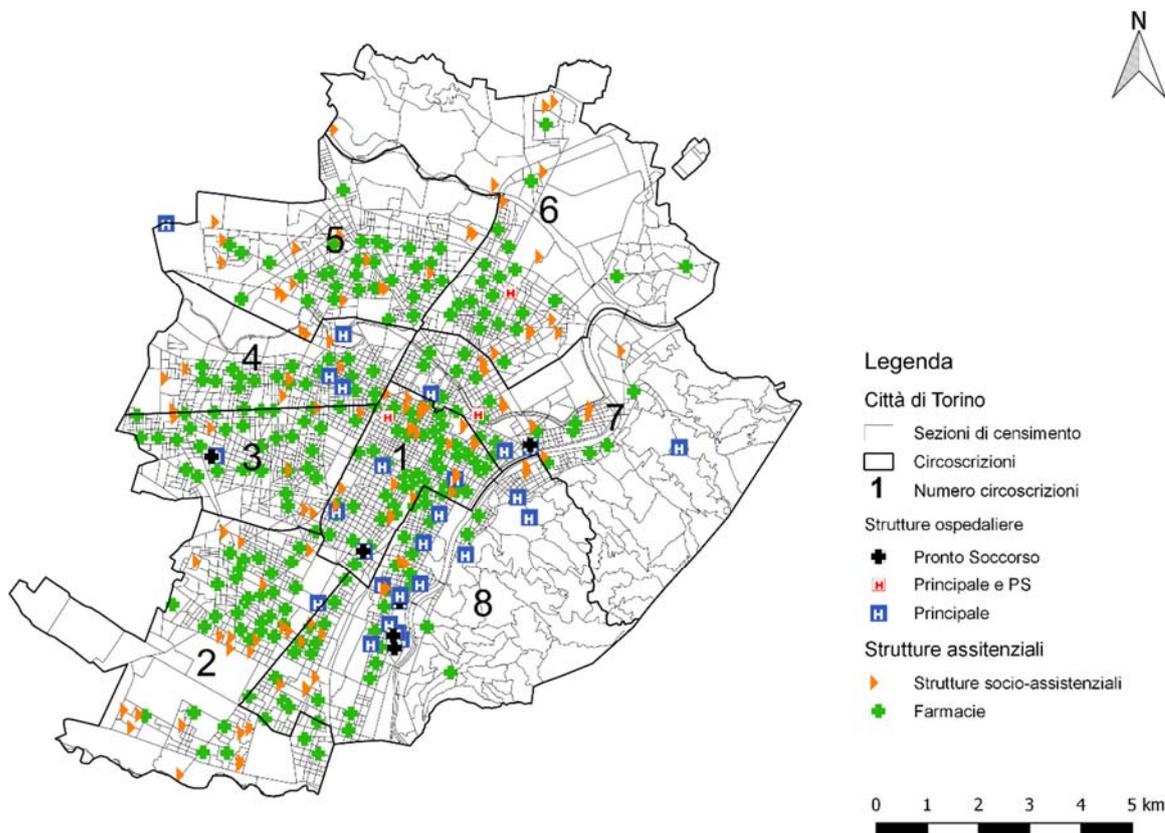


Figura 4-86: Rappresentazione della distribuzione delle strutture ospedaliere, socio-assistenziali e delle farmacie sul territorio urbano di Torino [produzione propria su Qgis].

V12 – Insufficienza di Strutture di Assistenza

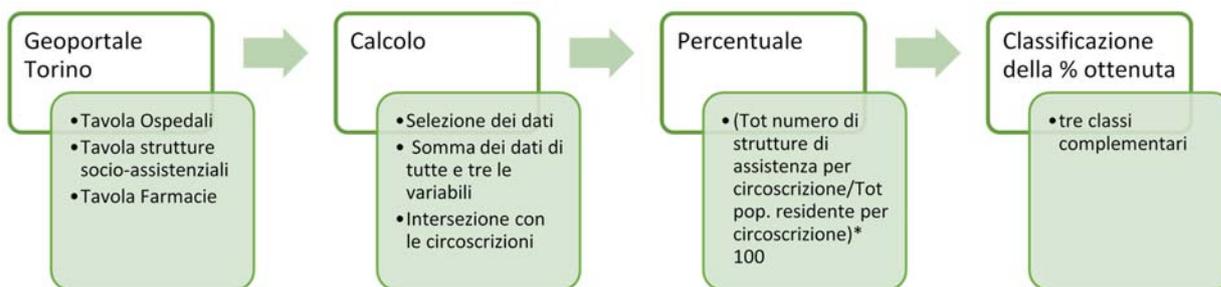


Figura 4-87: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dell'Insufficienza di Strutture di Assistenza e classificazione secondo tre classi complementari, ovvero dove i valori sono più bassi [produzione propria].



Apprendo, quindi, la tabella attributi dei file si nota come gli ospedali e le strutture socio-assistenziali presentano già la suddivisione delle variabili per circoscrizione. È stato sufficiente, perciò, riportare su un foglio Excel il numero di ciascun dei due dati per le corrispettive circoscrizioni. Un ulteriore passaggio indispensabile è l'eliminazione dei doppioni da entrambi i file. Per quanto riguarda le farmacie, anch'esse si presentano ripartite per circoscrizioni ma non sorge la necessità di eliminare i doppioni poiché non ve ne sono. Una volta, dunque, riportato sulla tabella Excel anche il valore delle farmacie, si svolge il totale numerico delle strutture per ogni circoscrizione e in seguito si carica il dato riguardante la popolazione presente sul territorio. A differenza delle precedenti elaborazioni non si utilizza, infatti, l'area delle circoscrizioni, ma il numero di popolazione residente, poiché i complessi di assistenza vanno a servire le persone e perciò serve conoscere la distribuzione delle strutture a disposizione di ogni soggetto. Ora è possibile svolgere la percentuale attraverso la formula:

$$V12 = \frac{\text{tot. numero di strutture assistenziali per circoscrizione}}{\text{tot. popolazione residente per circoscrizione}} * 100$$

Trovata la percentuale, si carica il risultato su Qgis, dove i valori verranno uniti allo shapefile delle circoscrizioni per poter applicare la classificazione. Come nei due precedenti indicatori, le strutture di assistenza vengono qualificate al complementare, combinando a colori scuri i valori inferiori e viceversa, per indicare dove il rischio è maggiore a causa di una scarsa assistenza nei confronti della popolazione residente nella zona.

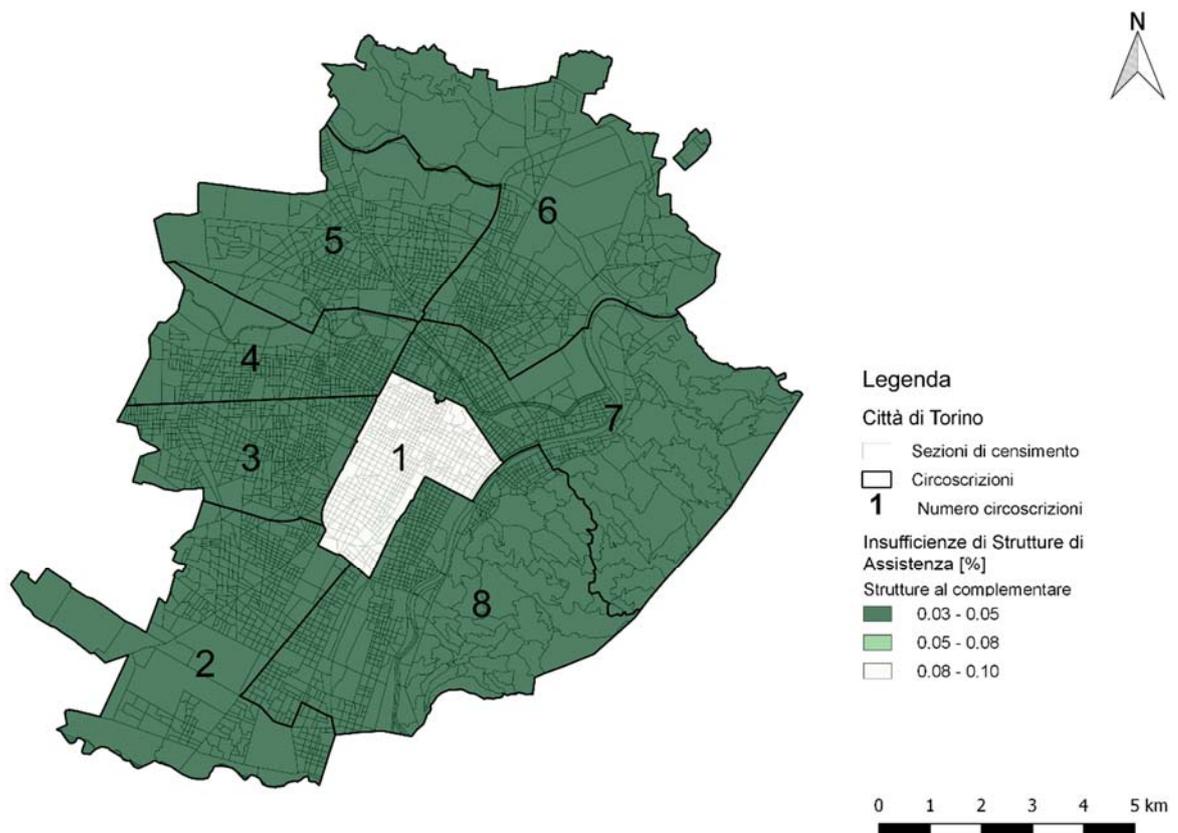


Figura 4-88: Tavola raffigurante la percentuale al complementare di strutture assistenziali rispetto al numero della popolazione residente servita per circoscrizione. [produzione propria su Qgis].

L'esito dimostra un servizio di assistenza basso per la maggior parte delle circoscrizioni e solo la prima documenta, invece, una percentuale molto elevata.

V12 – Insufficienza di Strutture di Assistenza Normalizzate su GRID

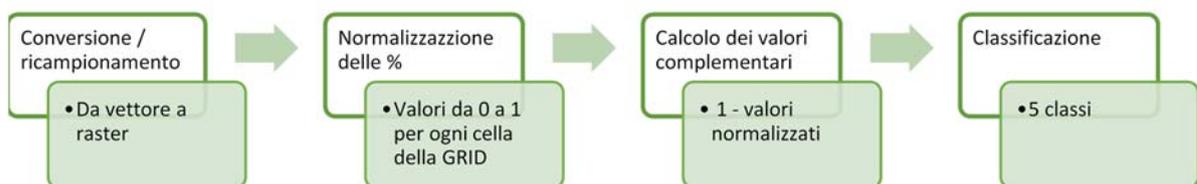


Figura 4-89: Processo per la classificazione dei valori normalizzati dell'Insufficienza di Strutture di Assistenza sulla GRID [produzione propria].



Le percentuali calcolate e categorizzate in precedenza all'interno dello shapefile, devono essere ora rasterizzate e ricampionate sulla GRID, attraverso lo strumento v.to.raster.attribute. Il risultato presenterà una griglia di celle di 1 km, ognuna delle quali dimostrerà una percentuale. Successivamente a tale step è necessario normalizzare le percentuali per conseguire dei valori confrontabili con gli altri indicatori elaborati. Per rappresentare l'insufficienza di strutture assistenziali, i dati trasformati tra 0 e 1 devono essere complementarizzati, sottraendoli ad 1. Questi assumeranno significato nel calcolo finale della vulnerabilità, dove andranno ad incidere, incrementandone il valore. Si classifica, infine, l'indicatore in cinque classi.

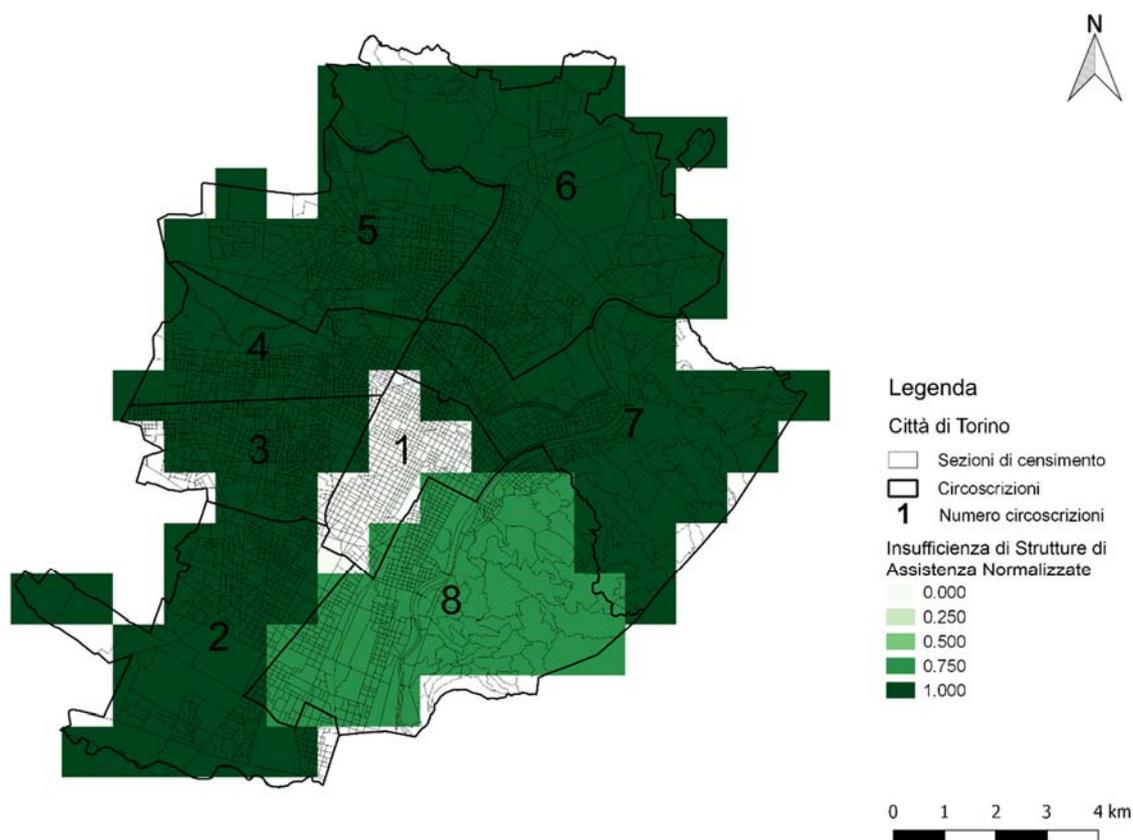


Figura 4-90: Tavola raffigurante i valori dell'Insufficienza di Strutture di Assistenza o V12, normalizzati su GRID
[produzione propria su Qgis].



4.2.5. STIMA DELLA VULNERABILITÀ



Figura 4-91: Processo schematico della stima della vulnerabilità e la successiva classificazione [produzione propria].

La stima della componente della vulnerabilità, come già visto per il pericolo, prevede un'elaborazione composta da quattro passaggi principali. Il primo consiste nell'applicazione dell'Analisi delle Componenti Principali o PCA agli indicatori. Dopo aver analizzato il file statistico prodotto, il secondo step corrisponde alla determinazione delle componenti principali. Il terzo passaggio coincide con la somma delle componenti moltiplicate per i pesi stimati e infine si produce la classificazione dei risultati in cinque categorie graduate.

4.2.5.1. Pesatura degli indicatori

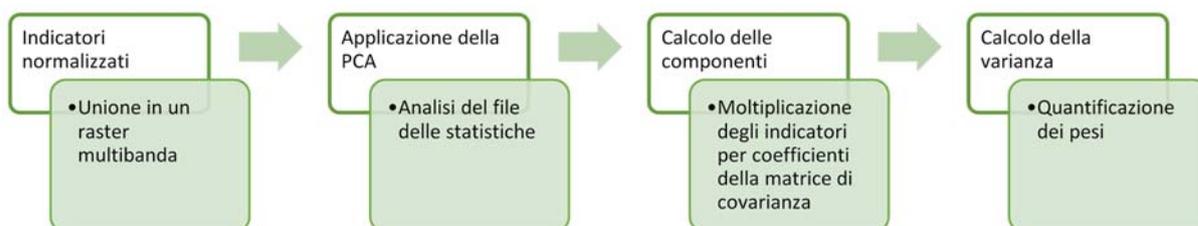


Figura 4-92: Processo schematico della pesatura degli indicatori della vulnerabilità [produzione propria].

Come già detto in precedenza la tecnica dell'Analisi delle Componenti Principali prevede l'utilizzo di un raster multibanda, quindi, per soddisfare tale necessità, si devono unire su Qgis gli indicatori normalizzati, mantenendo però tutte le bande.

Su tale raster multibanda verrà applicata la PCA, strumento di Qgis, disponibile nei plugins, scegliendo all'interno della finestra di dialogo una sola banda di output. L'analisi genera una mappa e un file text, contenente le statistiche.



Bisogna ora aprire il file statistico ed esaminarne la matrice di covarianza e la percentuale di spiegazione che viene fornita da ogni componente principale.

```
Correlation Matrix Band1 Band2 Band3 Band4 Band5 Band6 Band7 Band8 Band9 Band10 Band11 Band12
Band1 1.000 0.860 0.895 0.736 0.780 0.902 0.772 0.875 0.910 0.649 0.565 0.897
Band2 0.860 1.000 0.742 0.801 0.780 0.881 0.807 0.843 0.907 0.679 0.535 0.826
Band3 0.895 0.742 1.000 0.667 0.700 0.744 0.700 0.769 0.784 0.626 0.533 0.776
Band4 0.736 0.801 0.667 1.000 0.840 0.667 0.863 0.783 0.847 0.758 0.483 0.847
Band5 0.780 0.780 0.700 0.840 1.000 0.693 0.865 0.859 0.852 0.785 0.463 0.884
Band6 0.902 0.881 0.744 0.667 0.693 1.000 0.670 0.830 0.868 0.557 0.493 0.801
Band7 0.772 0.807 0.700 0.863 0.865 0.670 1.000 0.846 0.876 0.791 0.606 0.911
Band8 0.875 0.843 0.769 0.783 0.859 0.830 0.846 1.000 0.910 0.731 0.598 0.898
Band9 0.910 0.907 0.784 0.847 0.852 0.868 0.876 0.910 1.000 0.733 0.560 0.949
Band10 0.649 0.679 0.626 0.758 0.785 0.557 0.791 0.731 0.733 1.000 0.479 0.757
Band11 0.565 0.535 0.533 0.483 0.463 0.493 0.606 0.598 0.560 0.479 1.000 0.580
Band12 0.897 0.826 0.776 0.847 0.884 0.801 0.911 0.898 0.949 0.757 0.580 1.000
```

```
Cov.Eigenvectors PC1 PC2 PC3 PC4 PC5 PC6 PC7 PC8 PC9 PC10 PC11 PC12
Band1 -0.304 0.326 0.125 0.197 0.072 -0.043 -0.153 -0.155 0.150 -0.039 0.689 0.440
Band2 -0.299 0.142 0.144 -0.326 -0.327 0.355 0.194 0.531 0.064 -0.285 0.229 -0.270
Band3 -0.275 0.300 0.043 0.741 0.193 0.284 0.132 0.161 -0.094 0.030 -0.295 -0.161
Band4 -0.287 -0.339 0.061 -0.190 0.209 0.618 0.187 -0.500 -0.199 0.094 0.060 0.017
Band5 -0.294 -0.310 0.117 0.022 0.221 -0.355 0.604 0.055 0.496 -0.025 -0.075 0.088
Band6 -0.282 0.436 0.241 -0.254 -0.330 -0.087 0.000 -0.250 0.160 0.555 -0.307 -0.038
Band7 -0.300 -0.288 -0.137 -0.112 0.258 0.037 -0.347 0.542 -0.063 0.508 -0.020 0.225
Band8 -0.307 0.046 0.007 -0.071 0.007 -0.472 0.251 -0.001 -0.773 -0.026 0.098 -0.071
Band9 -0.316 0.046 0.111 -0.175 0.046 -0.024 -0.303 -0.038 -0.022 -0.565 -0.511 0.422
Band10 -0.263 -0.487 -0.099 0.378 -0.708 -0.059 -0.155 -0.107 0.021 -0.006 0.022 0.014
Band11 -0.207 0.233 -0.919 -0.113 -0.026 0.024 0.126 -0.101 0.122 -0.047 -0.028 0.009
Band12 -0.313 -0.067 0.025 -0.038 0.281 -0.216 -0.454 -0.188 0.191 -0.132 0.100 -0.681
```

```
Bands PC1 PC2 PC3 PC4 PC5 PC6 PC7 PC8 PC9 PC10 PC11 PC12
Cov.Eigenvalues 9.398 0.716 0.648 0.339 0.242 0.210 0.130 0.112 0.091 0.055 0.036 0.022
Sum of Eigenvalues 9.398 10.115 10.763 11.102 11.343 11.553 11.683 11.795 11.886 11.942 11.978 12.000
Eigenvalues/Sum 0.783 0.843 0.897 0.925 0.945 0.963 0.974 0.983 0.991 0.995 0.998 1.000
Percentages (%) 78.3 84.3 89.7 92.5 94.5 96.3 97.4 98.3 99.1 99.5 99.8 100.0
```

Figura 4-93: Immagine rappresentante il contenuto del file statistiche prodotto dall'applicazione della PCA su Qgis. Sono evidenziate la matrice di covarianza e le percentuali di spiegazione delle variabili inserite nell'analisi [screenshot del file text].

È necessario ora decidere la percentuale entro la quale assumere le componenti principali da utilizzare e il valore soglia per individuare i coefficienti che serviranno al calcolo delle componenti principali. Quest'ultimo, come per la stima del pericolo, corrisponde in valore assoluto a 0.3, mentre la percentuale massima che si andrà a considerare è pari a 92.5%, favorendo l'utilizzo nella valutazione delle prime quattro componenti principali. Un ulteriore passaggio fondamentale è il riconoscimento degli indicatori nelle bande.



Cov,Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
bilancio_arboreo	-0,304	0,326	0,125	0,197	0,072	-0,043	-0,153	-0,155	0,15	-0,039	0,689	0,44
aree verdi	-0,299	0,142	0,144	-0,326	-0,327	0,355	0,194	0,531	0,064	-0,285	0,229	-0,27
assistiti	-0,275	0,3	0,043	0,741	0,193	0,284	0,132	0,161	-0,094	0,03	-0,295	-0,161
consumo_suolo	-0,287	-0,339	0,061	-0,19	0,209	0,618	0,187	-0,5	-0,199	0,094	0,06	0,017
disagio_occupazionale	-0,294	-0,31	0,117	0,022	0,221	-0,355	0,604	0,055	0,496	-0,025	-0,075	0,088
edifici_produttivi	-0,282	0,436	0,241	-0,254	-0,33	-0,087	0	-0,25	0,16	0,555	-0,307	-0,038
epoca_costruzione	-0,300	-0,288	-0,137	-0,112	0,258	0,037	-0,347	0,542	-0,063	0,508	-0,02	0,225
indice_non_scolarizz.	-0,307	0,046	0,007	-0,071	0,007	-0,472	0,251	-0,001	-0,773	-0,026	0,098	-0,071
reddito	-0,316	0,046	0,111	-0,175	0,046	-0,024	-0,303	-0,038	-0,022	-0,565	-0,511	0,422
soggetti_soli	-0,263	-0,487	-0,099	0,378	-0,708	-0,059	-0,155	-0,107	0,021	-0,006	0,022	0,014
stranieri	-0,207	0,233	-0,919	-0,113	-0,026	0,024	0,126	-0,101	0,122	-0,047	-0,028	0,009
strutture_assistenza	-0,313	-0,067	0,025	-0,038	0,281	-0,216	-0,454	-0,188	0,191	-0,132	0,1	-0,681

Percentages(%)	78,3	84,3	89,7	92,5	94,5	96,3	97,4	98,3	99,1	99,5	99,8	100
----------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Tabella 4-33: Rappresentazione dei valori che superano la soglia prestabilita nella matrice di covarianza [produzione propria].

I coefficienti selezionati nella matrice di covarianza devono ora essere moltiplicati per gli indicatori, a seconda della componente principale che si vuole ottenere. Partendo dalla PC1 e proseguendo si applica il calcolo nel raster calculator. Il risultato che si consegue corrisponde a quattro raster che esprimono i valori relativi alle quattro componenti principali.



V_PC1

"bilancio_arboreo__scarso_normalizzato_complementare@1" * -0.304+
"epoca_costruzione_normalizzata@1" * -0.300 +
"indice_non_scolarizzazione_normalizzato@1" * -0.307 +
"reddito_normalizzato_complementare@1" * -0.316+
"insufficienza_strutture_assistenza_normalizzate_complementare@1" * -0.313

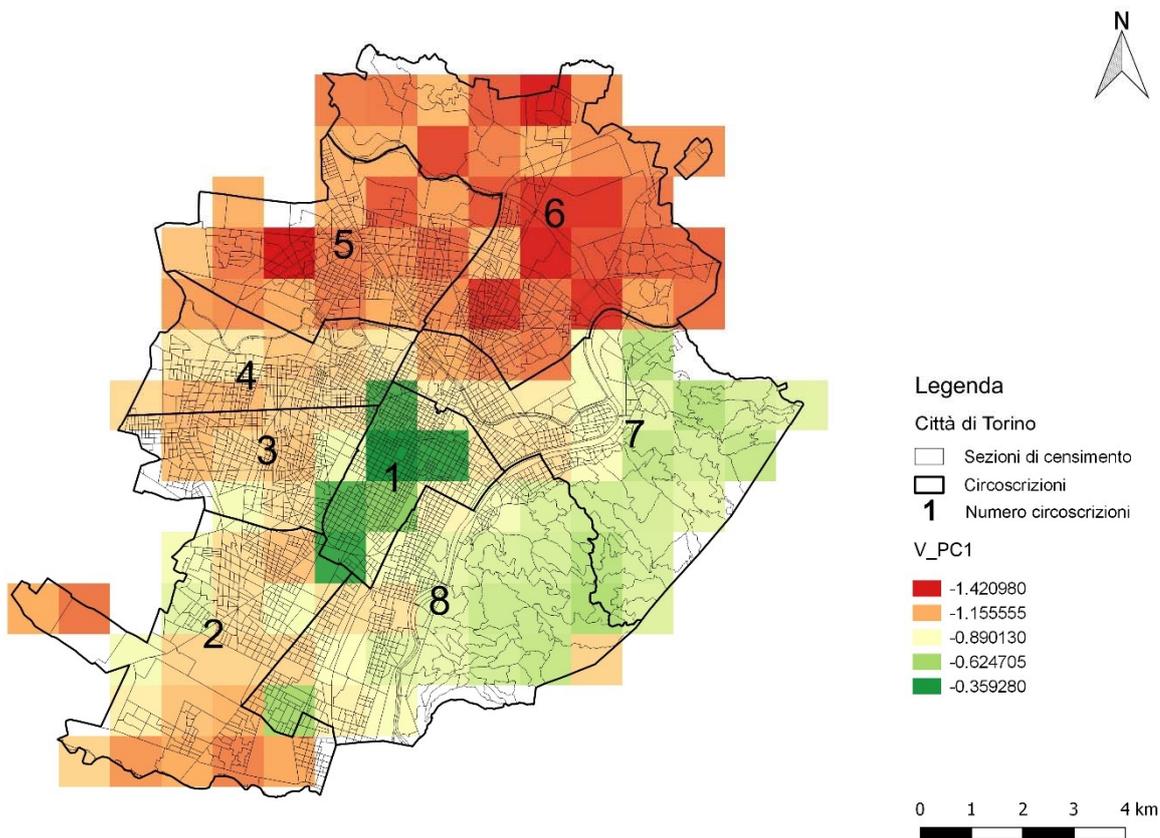


Figura 4-94: Rappresentazione grafica della prima componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis].



V_PC2

"bilancio_arboreo_scarso_normalizzato_complementare@1" * 0.326+

"consumo_suolo_normalizzato@1" * -0.399+

"disagio_occupazionale_normalizzato@1" * -0.31+

"edifici_produttivi_normalizzati@1" * 0.436+

"soggetti_soli_normalizzati@1" * -0.487

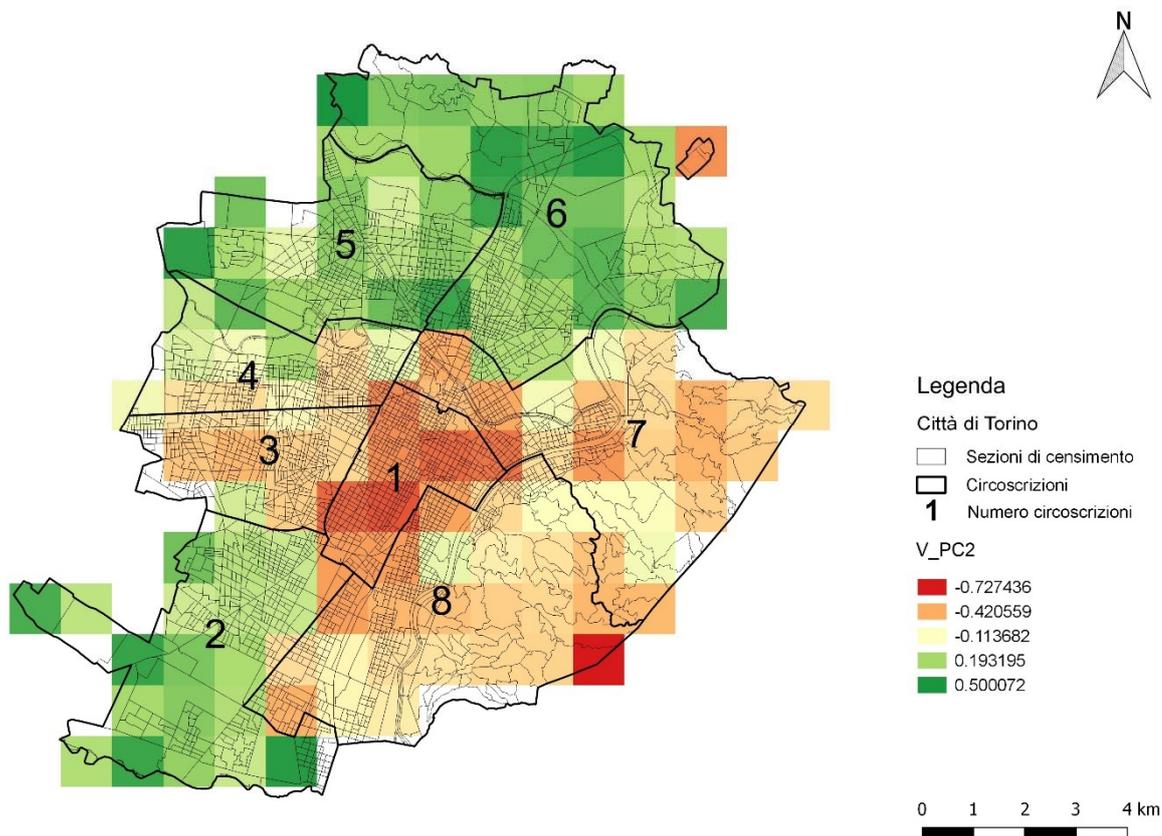


Figura 4-95: Rappresentazione grafica della seconda componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis].



V_PC3

"stranieri_normalizzati@1" * -0.919

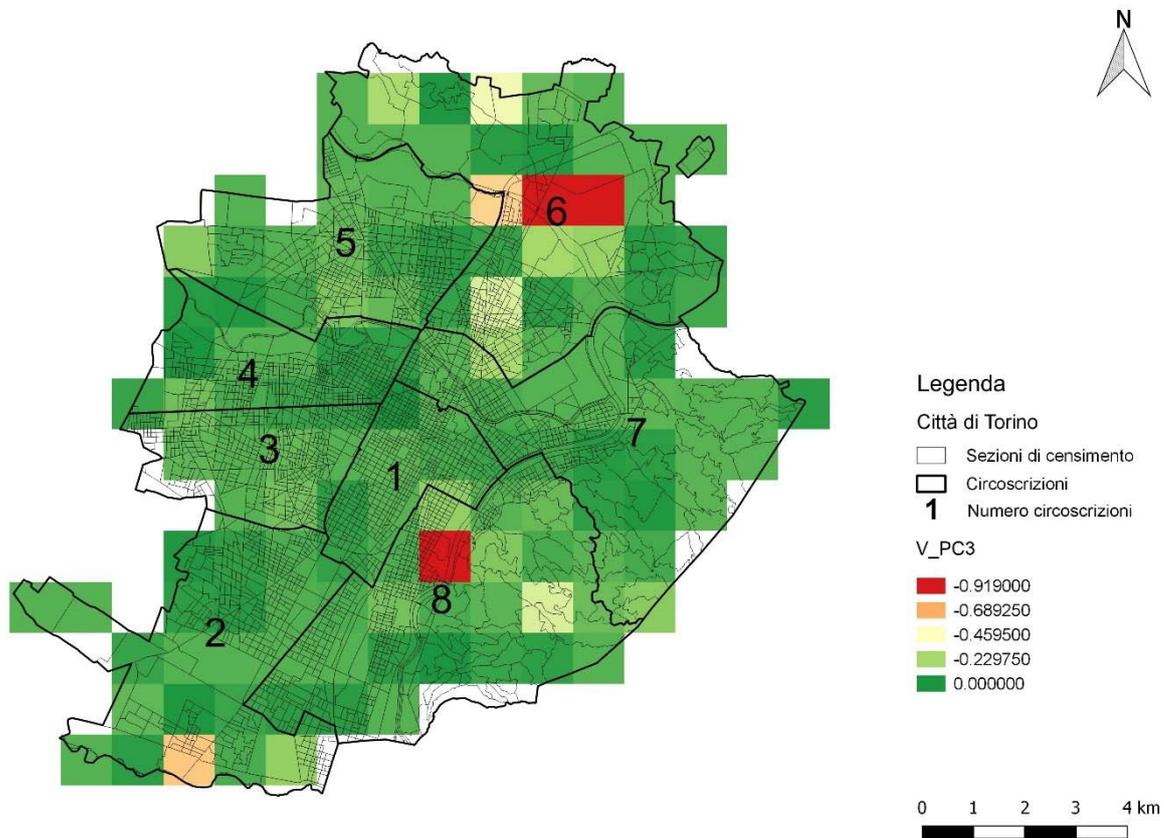


Figura 4-96: Rappresentazione grafica della terza componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis].



V_PC4

"mancanza_aree_verdi_normalizzate_complementari@1"*-0.326+

"assisti_normalizzati@1"*0.741+

"soggetti_soli_normalizzati@1" * 0.378

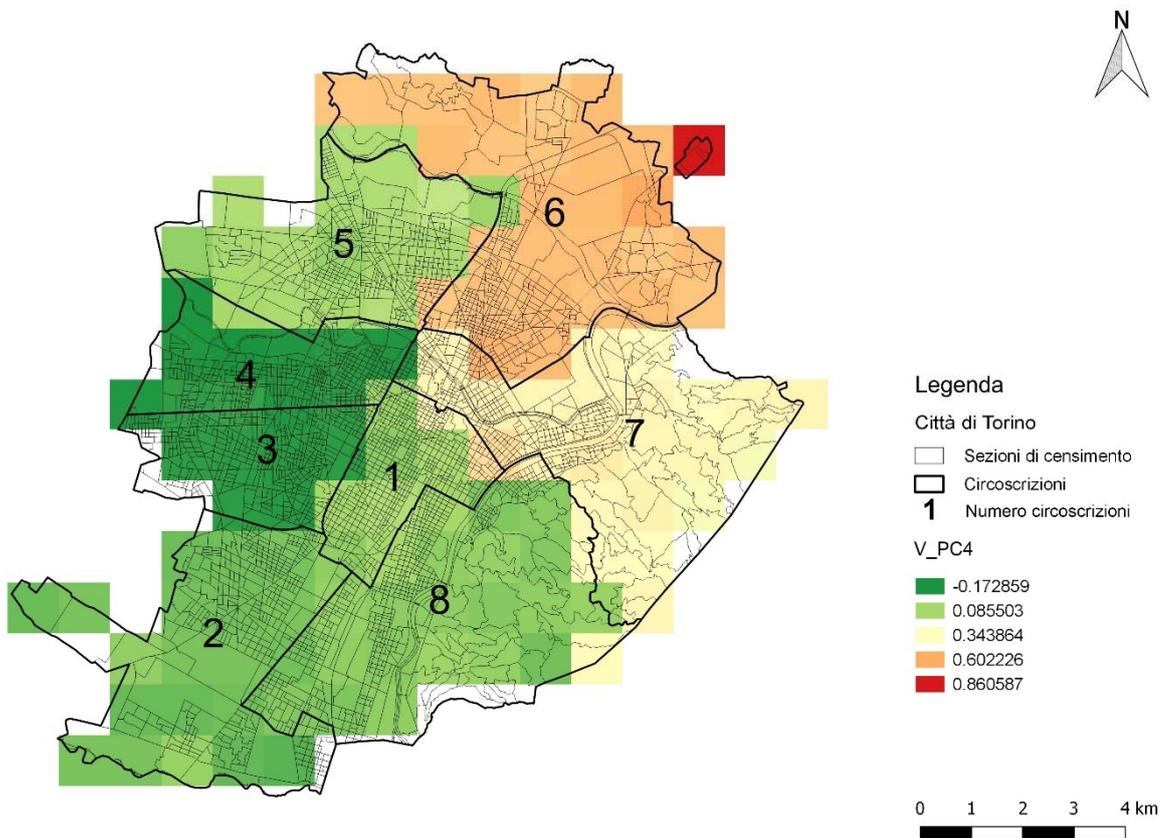


Figura 4-97: Rappresentazione grafica della quarta componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis]. ***** pag.285



Il passaggio successivo prevede, quindi, la quantificazione della varianza delle percentuali espresse dal file text delle statistiche e infine dei pesi. Ciò è possibile calcolando la differenza tra la prima percentuale e quelle seguenti e in seguito suddividendo i valori trovati con la percentuale che, tra quelle vagliate, ha il valore più alto.

Percentages(%)	78,3	84,3	89,7	92,5	94,5	96,3	97,4	98,3	99,1	99,5	99,8	100
----------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

varianza pca	78,3	6	5,4	2,8
pesi pca	0,846	0,0649	0,058	0,03

Tabella 4-34: Esplicitazione della varianza e dei pesi calcolati a partire dalle percentuali risultanti dalla PCA [produzione propria].

4.2.5.2. Somma e classificazione

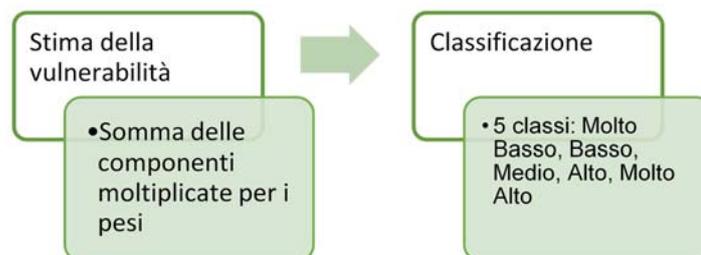


Figura 4-98: Processo schematico della somma degli indicatori e della classificazione della vulnerabilità ottenuta [produzione propria].

Per poter stimare la vulnerabilità è necessario svolgere un altro passaggio. Le componenti principali ricavate dal precedente step, devono essere, infatti, sommate e allo stesso momento moltiplicate con i rispettivi pesati, stimati attraverso la varianza delle percentuali. La formula inserita nel raster calculator di Qgis corrisponde a:

Indicatore composito della Vulnerabilità

"v_pc1@1"*0.846486486486487+

"v_pc2@1"*0.0648648648648649+

"v_pc3@1"*0.0583783783783784+

"v_pc4@1"*0.0302702702702702



Il risultato fornisce un raster composto da celle di 1 km, ciascuna riportante un valore pesato, determinato dal calcolo effettuato con le componenti principali.

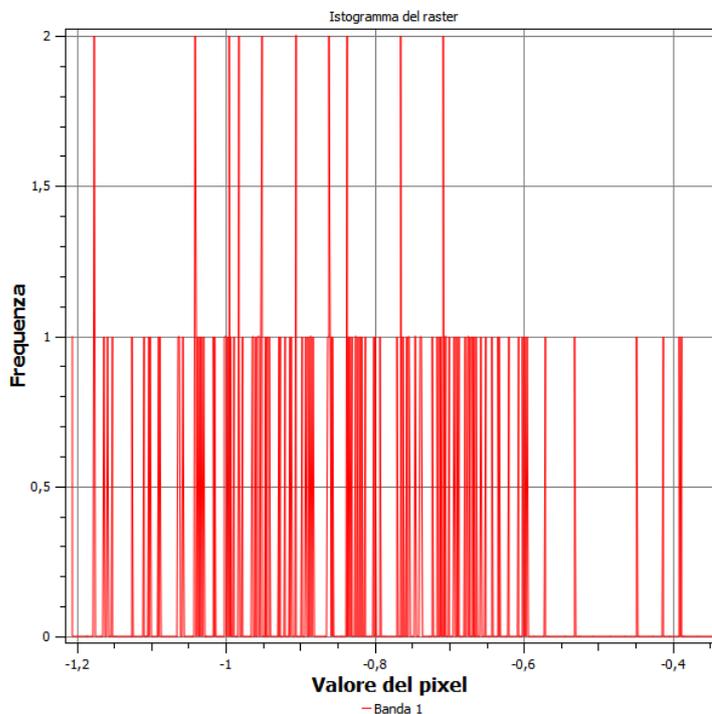


Figura 4-99: Istogramma che mette a relazione la frequenza e i valori del pixel per il raster della vulnerabilità [produzione propria su Qgis].

La vulnerabilità può ora essere classificata in cinque classi espresse da una scala di colori semaforici. Pertanto si hanno cinque categorie dal Molto Basso a Molto Alto.

Classi di valore	Classi di vulnerabilità
	Molto Basso
	Basso
	Medio
	Alto
	Molto Alto

Tabella 4-35: Corrispondenza tra colore e classe di vulnerabilità che si andrà a vedere in seguito in mappa [produzione propria].

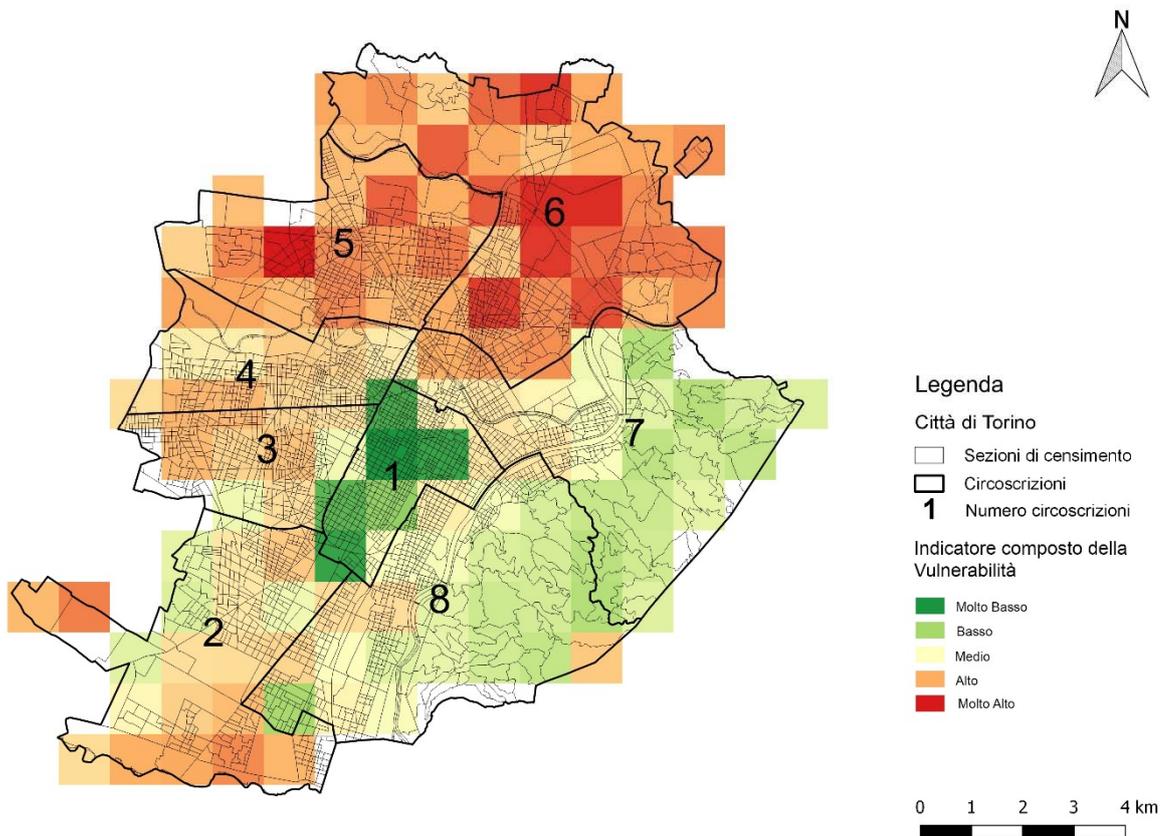


Figura 4-100: Tavola raffigurante la distribuzione dell'indicatore composto della vulnerabilità sul territorio torinese [produzione propria su Qgis].

Dalla figura si nota come la vulnerabilità sia maggiore a nord della città, considerando un'elevata distribuzione di valori molto alti nelle circoscrizioni 5 e 6. Nelle altre zone e in precisione nelle circoscrizioni 2, 3, 4 i dati sono ripartiti sul territorio, attestandosi su valori alti. Le circoscrizioni 7 e 8 variano, invece, da bassi, medi ad alti, a seconda della presenza della collina, dove la vulnerabilità è minore. Solo la circoscrizione 1 si attesta su valori molto bassi. Questa distribuzione rispecchia, quindi, la morfologia del territorio di Torino, dando una effettività significatività agli eventi di temperatura estrema. Nelle zone centrali e della collina le condizioni sociali positive influiscono, infatti, sulla vulnerabilità diminuendola rispetto invece alle aree più periferiche, dove le variabili sociali e fisiche come la qualità inferiore di vita e la presenza di molti edifici industriali, le rendono molto più vulnerabili.



4.2.6. GLI INDICATORI DELL'ESPOSIZIONE E LA LORO APPLICAZIONE

Se la vulnerabilità è relazionata agli aspetti culturali, sociali, ambientali, politici ed economici, l'esposizione è, invece, il prodotto di fattori fisici (Cardona et al., 2012). Può coinvolgere le infrastrutture, la popolazione e il sistema socio-economico, poiché si intendono i fattori fisici di un luogo o persona esposta ad un potenziale pericolo (World Meteorological Organization, 2015). Per esposizione si intende, infatti, il numero dei beni o di persone a rischio. Nel caso studio in questione, ovvero le ondate di calore nell'ambito urbano di Torino, l'esposizione viene attribuita al totale della popolazione ma soprattutto a coloro che per particolari condizioni fisiche è più soggetta agli effetti negativi delle temperature elevate. Il caldo estremo è, infatti, un evento climatico abbastanza diffuso e ricopre vaste aree del pianeta, a differenza di altri pericoli climatici. Nella stagione estiva le attività svolte direttamente sotto il sole o vicino a delle sorgenti di calore non naturali costituiscono, per i soggetti che le praticano, condizioni sfavorevoli, incrementandone il malessere bioclimatico. Le conseguenze negative del calore derivano non solo dalle temperature intese come caldo sensibile, ma sono il prodotto dell'interazione delle temperature, dell'umidità, della ventilazione e della radiazione se diffusa o diretta. Se, infatti, tutti gli individui possono essere potenzialmente esposti al calore, il rischio aumenta esponenzialmente quando subentrano specifici fattori, che determinano una certa sensibilità al caldo (World Meteorological Organization et al., 2015). Questa sensibilità si differenzia per ognuno, dipendendo fortemente dai comportamenti socio-economici, personali e dai fattori di rischio medici. Come visto precedentemente il Ministero della Salute ha pubblicato una lista di coloro che sono più a rischio quando vi sono temperature estreme. Tra le condizioni che più pregiudicano il benessere degli individui ci sono le malattie pregresse e le patologie croniche, oltre all'età dei pazienti considerati.

Basta l'aumento di un solo grado °C affinché i termorecettori sparsi sulla pelle, nei tessuti profondi e organi si attivino (Guyton e Hall, 2000). In questo modo il fisico agisce, infatti, i meccanismi di autoregolazione termica, come il sudore per dissipare il calore interno. Il problema sopraggiunge quando a causa dell'età o di malattie croniche, i meccanismi di autoregolazione non entrano in funzione correttamente. Ciò aumenta il rischio di ricoveri o di morte.



Bisogna considerare, inoltre, che all'inizio della stagione estiva, quando ancora le temperature non sono altissime si possono verificare degli eventi estranei al periodo, che mettono ancora più a rischio la popolazione. L'abituarsi alle alte temperature è un fenomeno chiamato in letteratura acclimatemento o acclimatazione. Il termine indica, infatti, la risposta adattiva all'ambiente caldo, con la quale il fisico del soggetto in questione impara a tollerare in modo migliore l'esposizione al caldo estremo (Guyton e Hall, 2000 e Kinney et al., 2008). Il processo di acclimatazione estivo si svolge, a seconda delle persone, in quattro o sei settimane. Ovviamente è indispensabile considerare il comportamento dei soggetti, poiché ad esempio gli anziani e i malati sono meno inclini a mantenere comportamenti corretti per affrontare il caldo, come bere molto, fare molte docce, frequentare luoghi freschi e vestirsi adeguatamente. In più è stato dimostrato che la popolazione anziana negli ultimi anni si è accresciuta numericamente. Basti pensare che nel 2005 a Torino gli anziani costituivano il 23.5% della popolazione totale, mentre nel 2015 la percentuale è cresciuta arrivando al 25.4% del totale degli abitanti (Servizio statistica e toponomastica, 2015). Gli anziani vengono a rappresentare, per di più, il 90% della popolazione colpita e deceduta per complicanze dovute al caldo. Su 2.836 morti, 2.561 sono over 65 anni (Arpa, 2015).

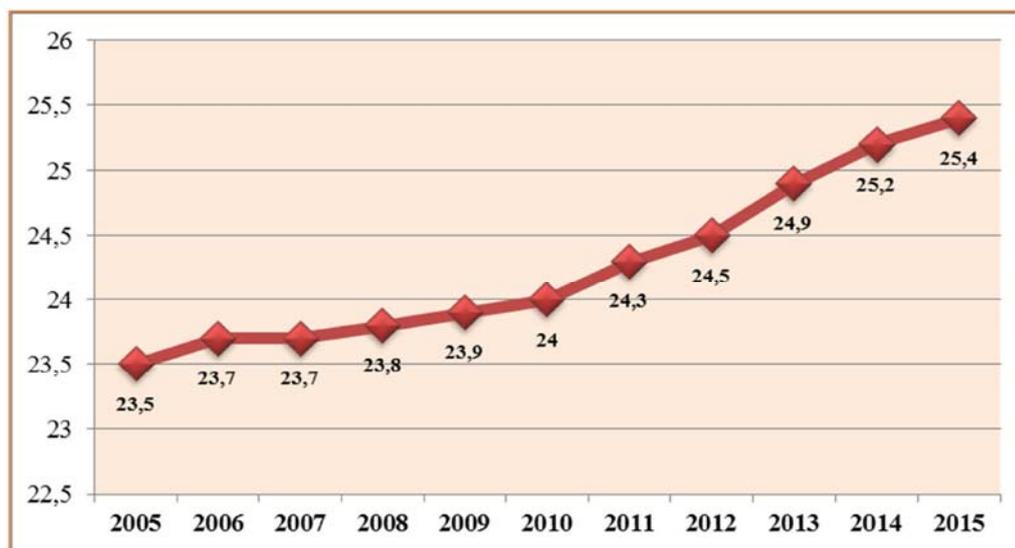


Figura 4-101: Grafico rappresentante la percentuale di residenti over 65 anni nella città di Torino [Servizio statistica e toponomastica (2015), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2015*, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino].



Si riscontra, inoltre, una differenza tra genere maschile e femminile, che risulta più sensibile agli effetti negativi del caldo estremo (Arpa, 2015 e Costa et al., 2015). Ciò è dovuto al fatto che le donne sono molto più longeve e presentano una temperatura interna più elevata degli uomini, mettendole a repentaglio di fronte al caldo estremo. Per questo motivo, quindi, nelle statistiche dei soggetti anziani le donne emergono come quelle più colpite.

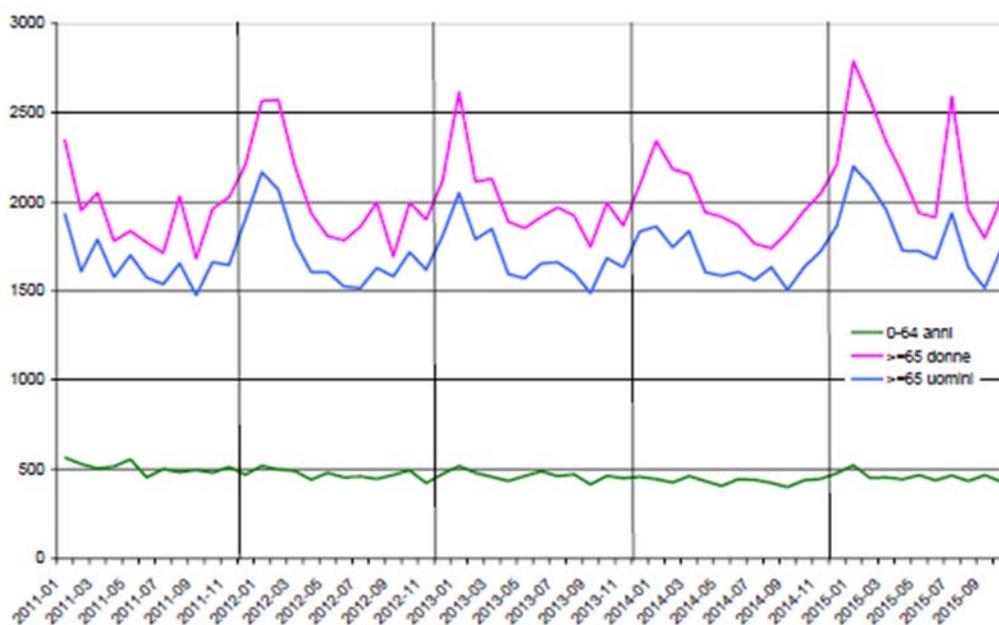


Figura 4-102: Grafico indicante il numero assoluto di morti per mese di decesso, fasce di età e sesso nella regione Piemonte [Costa G., Migliardi A., Alesina M., Bianco S., Carnà P., Farina E., Gnavi R., Stroschia M., Zengarini N., Servizio di Epidemiologia di riferimento regionale, ASL TO3 Piemonte e Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche, Università Torino (2015), *L'eccesso di mortalità nel 2015: fatti e spiegazioni dei dati piemontesi*, Università di Torino, Torino e AURA (Archivio Unico Regionale degli Assistenti)].

In generale, quindi, gli indicatori presi in considerazione sono stati assunti dai documenti già utilizzati in precedente per individuare gli altri indici. Dall'Arpa all'Ispra, passando dal Ministero della Salute fino all'Organizzazione Mondiale della Sanità, vengono descritti ampiamente i soggetti più deboli esposti alle variazioni climatiche estreme. Nello specifico sono stati presi a riferimento non tanto i malati cronici, dato difficilmente reperibile, ma il gruppo degli anziani e la densità di popolazione residente.

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Esposizione	Densità di popolazione	E1	ab./mq	intera popolazione	sociale	quantitativo
	Over 60 Maschi	E2	%	fascia d'età e sesso	sociale	quantitativo
	Over 60 Femmine	E3	%	fascia d'età e sesso	sociale	quantitativo
	Over 75 Maschi	E4	%	fascia d'età e sesso	sociale	quantitativo
	Over 75 Femmine	E5	%	fascia d'età e sesso	sociale	quantitativo

Tabella 4-36: Grafico rappresentante gli indicatori sociali costituenti la componente dell'esposizione [produzione propria].

Il processo di applicazione degli indicatori per calcolare l'esposizione si svolge seguendo i passaggi che già per il pericolo e la vulnerabilità sono stati effettuati. Sostanzialmente il procedimento è identico attraverso la quantificazione dei valori ottenuti per circoscrizione in % e ab./mq e in seguito il ricampionamento dei valori sulla GRID, attraverso la rasterizzazione con il programma v.to.rast.attribute, fornito da Grass Gis. Su queste griglie di celle, i valori saranno dapprima normalizzati e poi pesati attraverso la tecnica della PCA. Infine verranno sommati per poter classificare la componente dell'esposizione in cinque classi.



Figura 4-103: Rappresentazione schematica del procedimento per realizzare la classificazione dell'esposizione attraverso l'elaborazione degli indicatori [produzione propria].



4.2.6.1. Densità di popolazione



Tabella 4-37: Primo indicatore che andrà a comporre l'esposizione, la Densità di popolazione [produzione propria].

Quando si parla di esposizione è normale pensare al totale della popolazione esposta e in questo caso l'intera popolazione della città può subire effetti negativi durante le ondate di calore, a seconda della zona in cui abita e lavora. Per effetti negativi non si intende, infatti, solamente malessere e addirittura il decesso, ma ci si riferisce anche solo al disagio che le temperature elevate comportano, come debolezza e stanchezza. Per analizzare la popolazione totale è stato necessario ricavarsi la densità di popolazione misurata in ab./mq per ogni sezione di censimento per rendere il dato maggiormente preciso rispetto al territorio. Innanzitutto bisogna, quindi, assumere i valori pubblicati dal censimento ISTAT nel 2011, corrispondenti alla variabile:

- Popolazione residente – totale o P1.

E1 – Densità di popolazione



Figura 4-104: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa della Densità di popolazione e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Selezionata la variabile dall'ISTAT e riportata su Qgis, verrà associata allo shapefile delle sezioni di censimento. Aprendo la tabella attributi è possibile, poi, calcolare l'area



di ogni sezione di censimento attraverso il calcolatore dei campi. Una volta conseguite le due variabili necessarie a calcolare la densità della popolazione, basterà creare una nuova colonna nella tabella attributi e applicare la formula:

$$E1 = \frac{\text{popolazione residente per sezione}}{\text{area per sezione}}$$

In tale maniera la densità della popolazione misurata in ab./mq corrisponde ad una sezione di censimento. Basterà ora classificare i valori in tre classi.



Figura 4-105: Tavola rappresentante la classificazione della Densità di popolazione, suddivisa per sezione di censimento [produzione propria su Qgis].

I valori di densità della popolazione è uniforme su tutto il territorio attestandosi su quantità molto basse.



E1 – Densità di popolazione Normalizzata su GRID

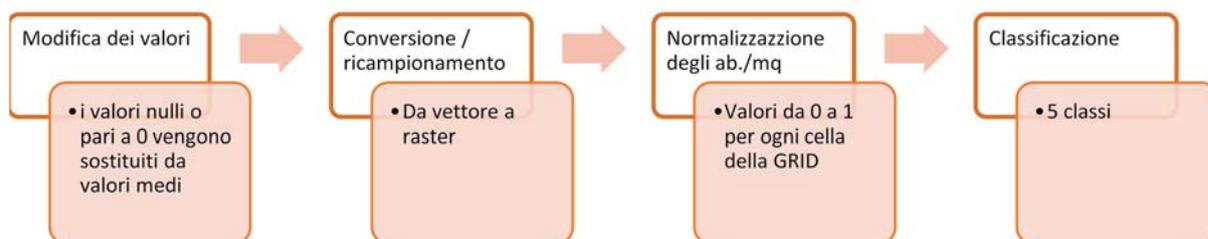


Figura 4-106: Processo per la classificazione dei valori normalizzati della Densità di popolazione sulla GRID [produzione propria].

Aperto la tabella attributi dello shapefile si può notare come le sezioni di censimento presentano alcuni vuoti e valori pari a 0, che in seguito nelle elaborazioni potrebbero falsare i risultati. Si preferisce, pertanto, sostituire tali valori con la media quantificata tra tutti i numeri espressi in ab./mq dall'indicatore. Effettuato tale passaggio, si può convertire il vettore in raster ricampionando i valori sulla GRID, conseguendo così una griglia di celle da 1 km. La conversione, realizzata attraverso lo strumento di geoprocessing v.to.raster.attribute, permette di avere delle celle che contengono un solo valore mediato sulle precedenti sezioni di censimento appartenenti all'area.

Questi valori, prima di poter essere classificati, necessitano di essere normalizzati, applicando la formula seguente nel raster calculator:

$$(X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

dove X è uguale all'indicatore e le X_{min} e X_{max} rappresentano rispettivamente il valore minimo e quello massimo che caratterizzano lo stesso indicatore. La normalizzazione consente maggiore confrontabilità nelle elaborazioni successive.

Ora si può effettuare la classificazione cinque classi graduate.

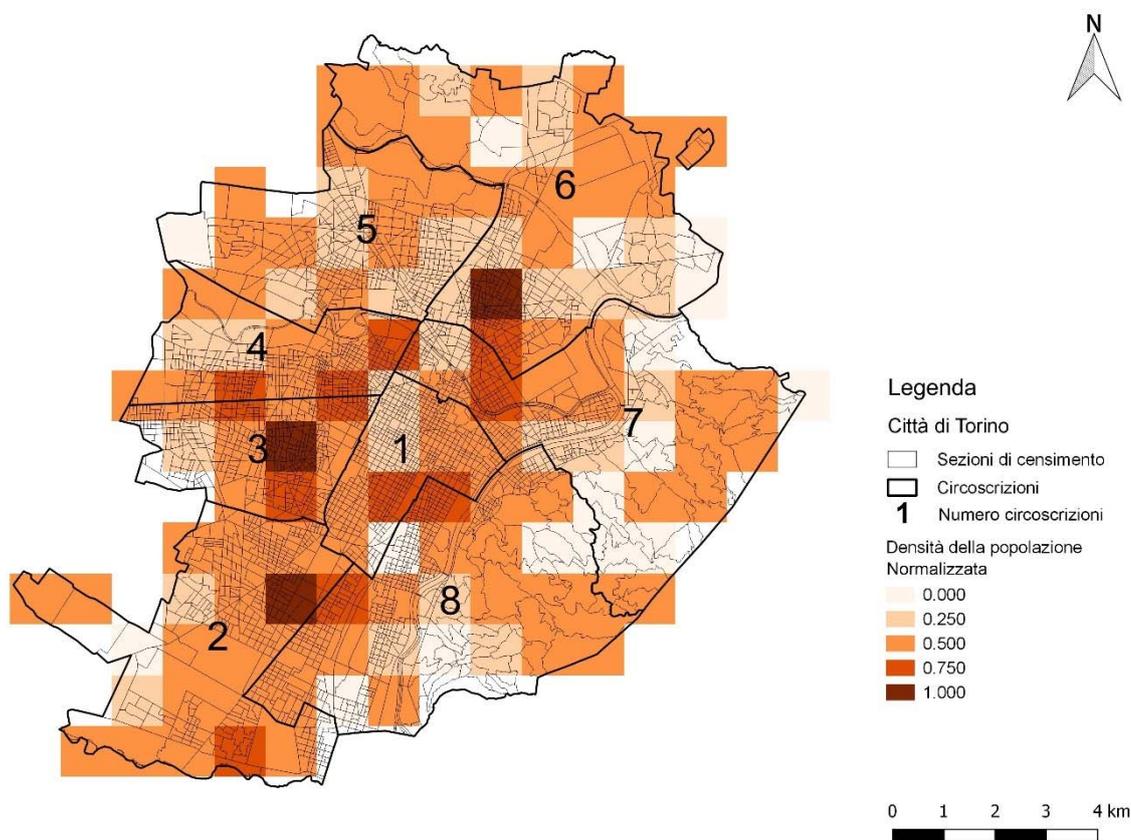


Figura 4-107: Tavola raffigurante i valori della Densità di popolazione, normalizzata su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.6.2. Over 60 Maschi

L'indicatore in questione rientra nelle fasce deboli della popolazione, per le quali si intendono i gruppi di individui maggiormente esposti ai rischi del caldo estremo, con conseguenze, anche gravi, sulla salute psicofisica. Tali individui a causa di condizioni fisiche e di salute pregresse e di comportamenti errati, aumentano il rischio di malessere. Come descritto in precedenza fondamentale è considerare anche la distinzione uomo e donna. Se il Ministero della Salute individua i gruppi deboli di popolazione (come descritto nel capitolo 1.2 Effetti sulla salute) e le conseguenze negative che potrebbero verificarsi in caso di temperature estreme, l'Arpa nel documento sulla mortalità estiva riconosce quali sono i soggetti più esposti ad essere ricoverati in strutture ospedaliere oppure più a rischio di decesso. Grazie all'unione di questi due documenti si è potuta stilare la lista degli individui deboli, che andranno a



incidere sul calcolo dell'esposizione torinese. Ma per poter effettuare il calcolo è indispensabile ricavare il numero delle persone coinvolte. È stato necessario, quindi, rivolgersi al censimento ISTAT, nel quale è stato possibile trovare le classi connesse agli individui ed effettuarne.



Tabella 4-38: Primo indicatore che andrà a comporre l'esposizione, gli anziani Over 60 Maschi [produzione propria].

Le classi che si andranno ad esaminare dal censimento ISTAT del 2011 per la valutazione e sul quale si effettuerà il calcolo numerico, sono:

- Popolazione residente-maschi - età 60 – 64 anni corrispondente alla colonna ISTAT P42;
- Popolazione residente-maschi - età 65 – 69 anni o P43;
- Popolazione residente-maschi - età 70 – 74 anni o P44.

E2 – Over 60 Maschi

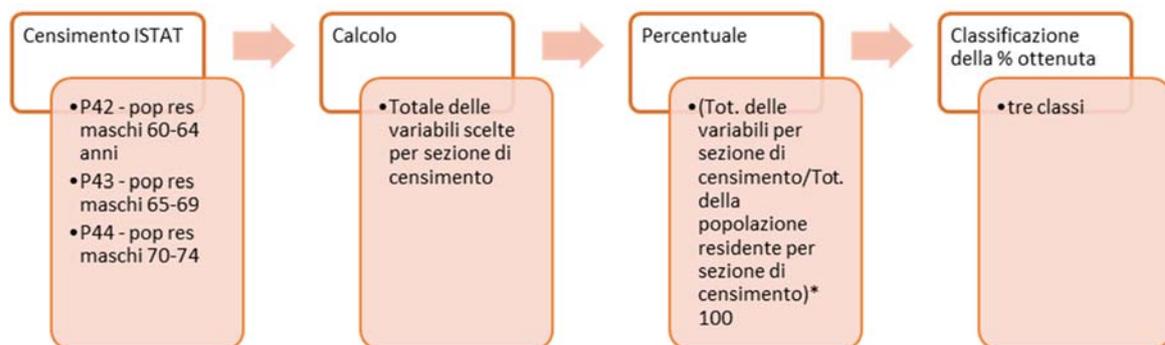


Figura 4-108: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa degli anziani Over 60 Maschi e classificazione secondo tre classi [produzione propria].



Dopo la scelta delle variabili da utilizzare nell'elaborazione, devono essere sommate tra di loro per trovare il totale numerico degli anziani di genere maschile over 60, in particolare tra i 60 e i 74. È necessario ora quantificare la percentuale degli anziani rispetto al totale dei residenti della città di Torino.

$$E1 = \frac{\text{tot. over 60 maschi per sezione di censimento}}{\text{tot. residenti per sezione di censimento}} * 100$$

L'ultimo step da eseguire è il caricamento delle percentuali quantificate su Excel in Qgis ed unire la tabella allo shapefile delle sezioni di censimento. Si classificano così i risultati in tre classi.



Figura 4-109: Tavola rappresentante la classificazione degli anziani di genere maschile over 60, suddivisi per sezione di censimento [produzione propria su Qgis].



I risultati grafici dimostrano una distribuzione abbastanza uniforme sul territorio degli anziani maschi con anni superiori a 60. Le percentuali, inoltre, si attestano su valori relativamente bassi

E2 – Over 60 Maschi Normalizzati su GRID

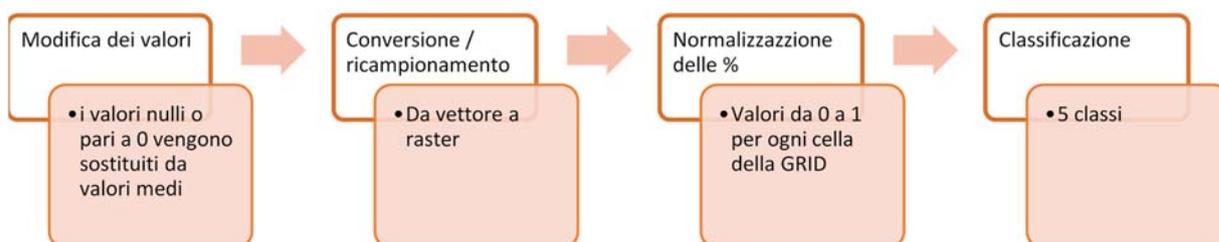


Figura 4-110: Processo per la classificazione dei valori normalizzati degli Over 60 Maschi sulla GRID [produzione propria].

Come effettuato per tutti gli indicatori precedentemente analizzati, anche in questo caso i passaggi che conducono ad una mappa delle percentuali normalizzate suddivise in 5 classi, sono quattro. Il primo step prevede l'inserimento di un valore medio al posto delle sezioni nulle o con percentuali pari a 0, calcolato tra tutti i valori espressi dall'indicatore. Il secondo passaggio è la rasterizzazione e il ricampionamento dei dati in un raster caratterizzato da una griglia di celle da 1 km. Il terzo step è, invece, la normalizzazione delle percentuali che ciascuna cella della griglia contiene. Infine il quarto ed ultimo passaggio è la classificazione dei valori normalizzati appena conseguiti in cinque classi.

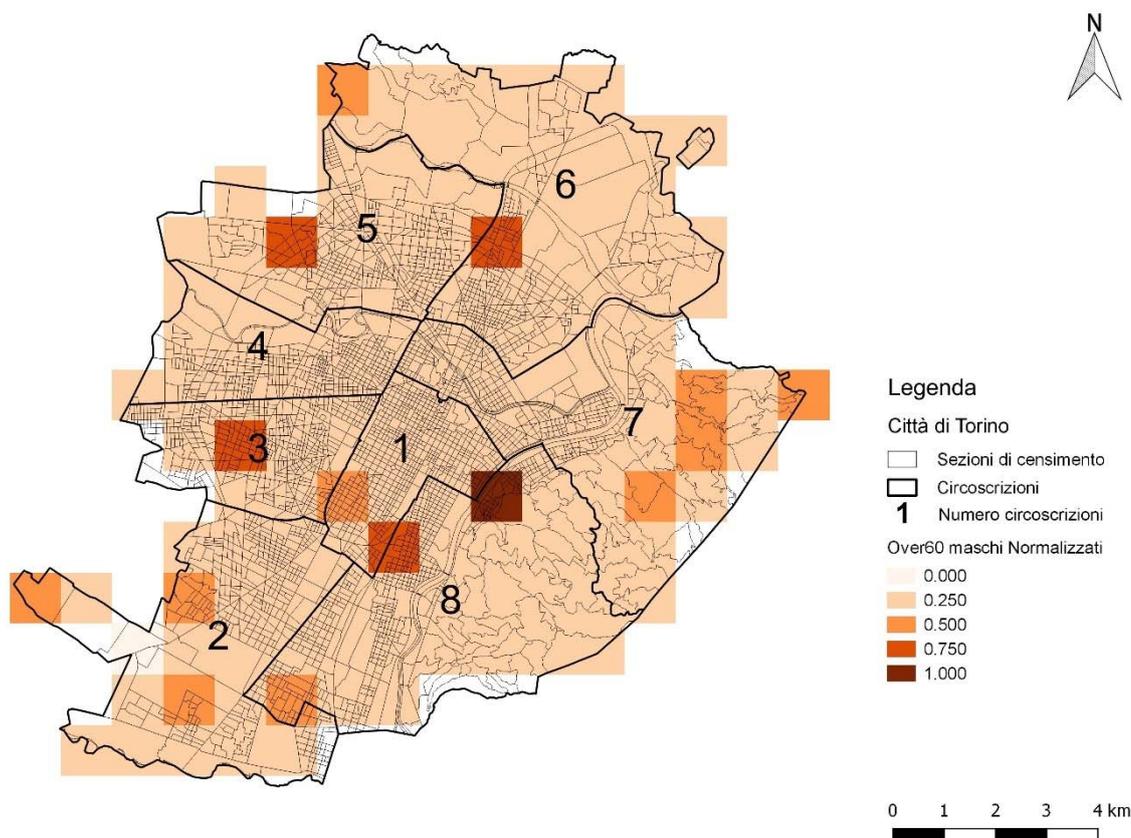


Figura 4-111: Tavola raffigurante i valori degli Over 60 Maschi o E2, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.6.3. Over 60 Femmine

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Esposizione	Over 60 Femmine	E3	%	fascia d'età e sesso	sociale	quantitativo

Tabella 4-39: Secondo indicatore che comporrà l'esposizione, gli anziani Over 60 di genere femminile [produzione propria].

L'individuazione degli anziani di genere femminile over 60 anni, prevede un'elaborazione più complessa, poiché l'ISTAT non mette a disposizione la categoria donna ma quella totale e quella maschile. Sarà necessario, quindi, riconoscere le



colonne degli over 60 totali e riportare le variabili che sono state utili nell'indicatore precedente riferita agli uomini:

- Popolazione residente-età 60 – 64 anni corrispondente alla colonna ISTAT P26;
- Popolazione residente-età 65 – 69 anni o P27;
- Popolazione residente-età 70 – 74 anni o P28;
- Popolazione residente-maschi - età 60 – 64 anni o P42;
- Popolazione residente-maschi - età 65 – 69 anni o P43;
- Popolazione residente-maschi - età 70 – 74 anni o P44.

E3 – Over 60 Femmine

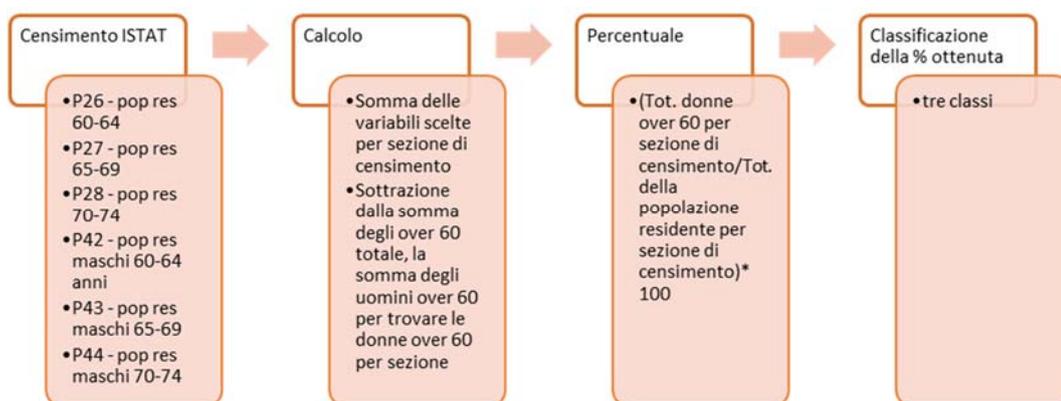


Figura 4-112: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa degli anziani Over 60 Femmine e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Per calcolare il numero di donne Over 60 è necessario ricorrere ad alcune elaborazioni. Una volta, quindi, sommate le categorie separatamente, ovvero totale degli anziani over 60 e totale di anziani di genere maschile over 60 si può quantificare la variabile degli over 60 donne, sottraendo al numero degli anziani totale quello dei maschi.

$$\text{Anziani donne over 60 anni} = (\text{Popolazione residente-età 60 – 64 anni} + \text{Popolazione residente-età 65 – 69 anni} + \text{Popolazione residente-età 70 – 74 anni}) - \text{Anziani maschi over 60 anni}$$



Il risultato si presenta, così:

Genere	N° di anziani
Anziani over 60 anni	163.359
Anziani maschi over 60 anni	74.350
Anziani donne over 60 anni	89.009

Tabella 4-40: Rielaborazione dati ISTAT del 2011 sull'età dei soggetti e la rispettiva quantificazione nell'area urbana di Torino [https://www.istat.it/it/archivio/104317].

Dalla tabella emerge che il numero di donne che hanno superato i 60 anni sono maggiori rispetto al genere maschile, dato che conferma gli studi (in particolare lo studio citato nel capitolo 5.2.4 riguardante il testo di Costa et al., 2015). Ovviamente il calcolo è da effettuare per sezioni di censimento, in modo tale che una volta caricati i dati su Qgis si possano unire allo shapefile delle sezioni di censimento. In seguito sarà possibile quantificare, così, la percentuale delle donne anziane rispetto al totale dei residenti della città di Torino.

$$E2 = \frac{\text{tot. over 60 femmine per sezione di censimento}}{\text{tot. residenti per sezione di censimento}} * 100$$

La classificazione in tre classi graduate dimostrerà come i valori si distribuiscono sul territorio.

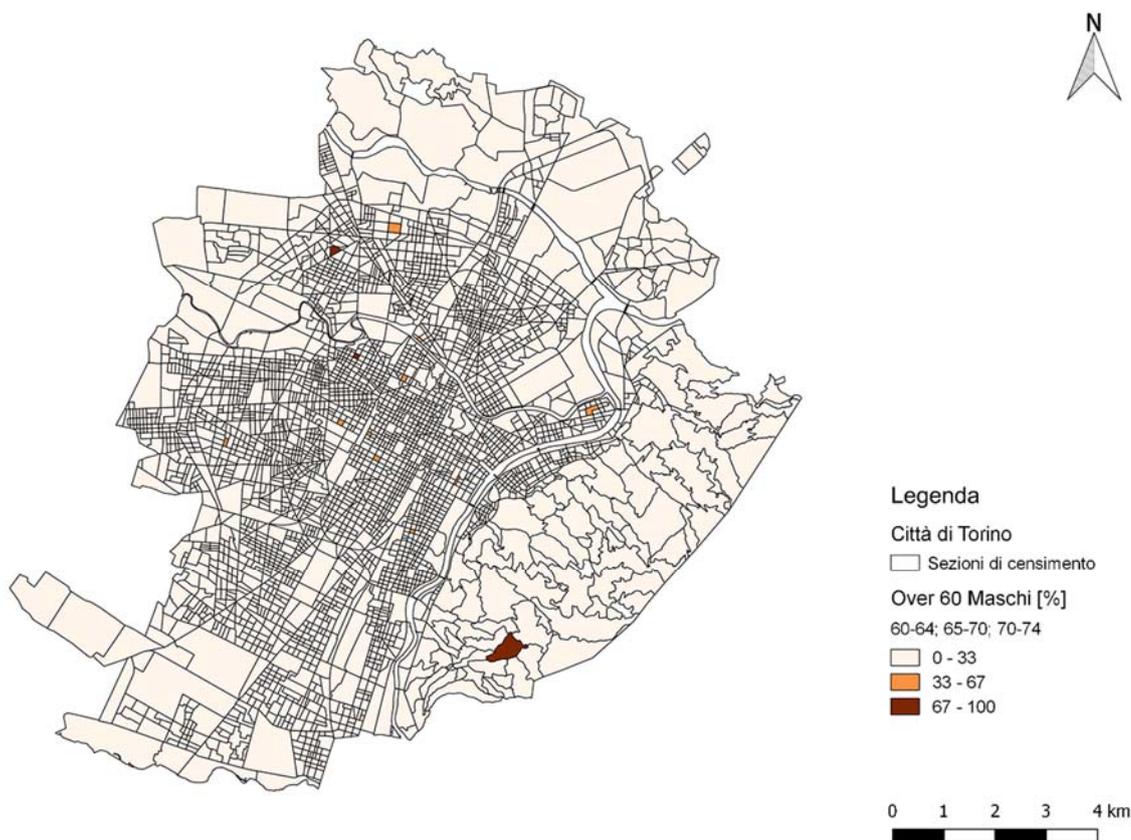


Figura 4-113: Tavola rappresentante la classificazione degli anziani di genere femminile over 60, suddivisi per sezione di censimento [produzione propria su Qgis].

Come per gli uomini, anche nel caso delle donne, la distribuzione delle percentuali sul territorio è uniforme, con valori che si attestano su una media relativamente bassa. La differenza tra i due generi non è particolarmente evidente.

E3 – Over 60 Femmine Normalizzati su GRID

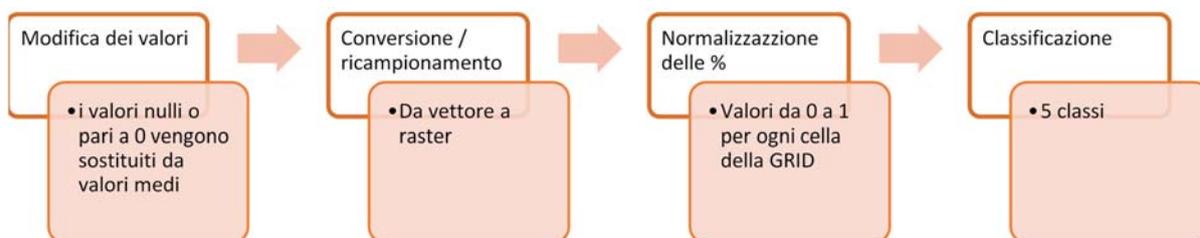


Figura 4-114: Processo per la classificazione dei valori normalizzati degli Over 60 Femmine sulla GRID [produzione propria].



Le percentuali ottenute nel processo precedente e che si presentano nulle o pari a 0 vengono dapprima sostituite con la media quantificata tra tutti i valori dell'indicatore. Successivamente si trasformano il vettore contenente i dati in un raster, ricampionando allo stesso tempo le percentuali su una griglia di celle di dimensione pari ad 1 km per 1 km. Ciò è permesso dall'utilizzo del programma v.to.raster.attribute. In seguito alla conversione in raster, le percentuali espresse da ciascuna cella devono essere normalizzate in un range racchiuso tra 0 e 1.

Basterà, infine, classificare i valori in cinque categorie.

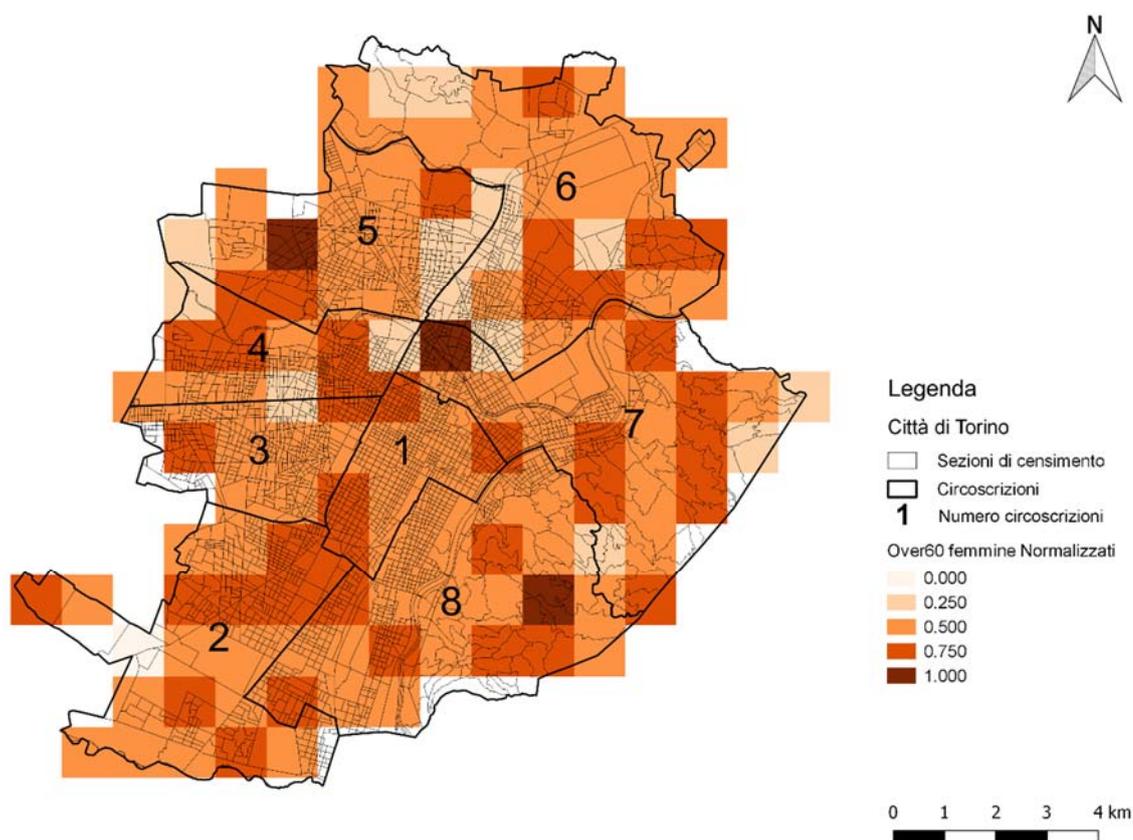


Figura 4-115: Tavola raffigurante i valori degli Over 60 Femmine o E3, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].



4.2.6.4. Over 74 Maschi



Tabella 4-41: Terzo indicatore che andrà a comporre l'esposizione, gli anziani Over 74 di genere maschile [produzione propria].

In questo caso la categoria scelta per rappresentare gli anziani di genere maschile con un'età superiore ai 74 è una sola, che comprende l'intera variabile ISTAT:

- Popolazione residente-maschi - età > 74 anni corrispondente a P45

E4 – Over 74 Maschi

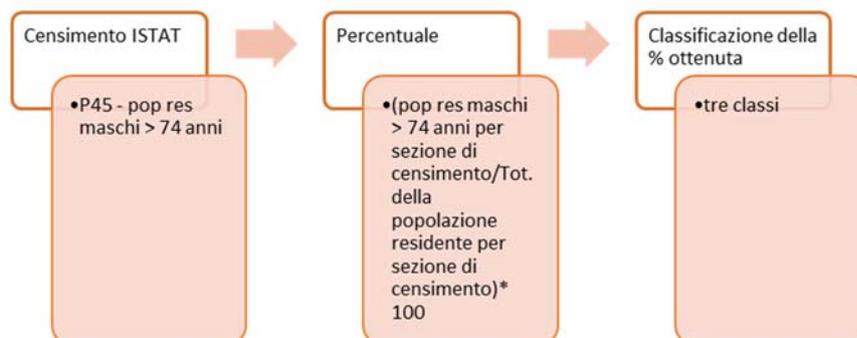


Figura 4-116: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa degli anziani Over 74 Maschi e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

La variabile non necessita di particolari elaborazioni ad eccezione della percentuale da effettuare tramite la formula:

$$E3 = \frac{\text{tot. over 74 maschi per sezione di censimento}}{\text{tot. residenti per sezione di censimento}} * 100$$

Le percentuali devono ora essere classificate.

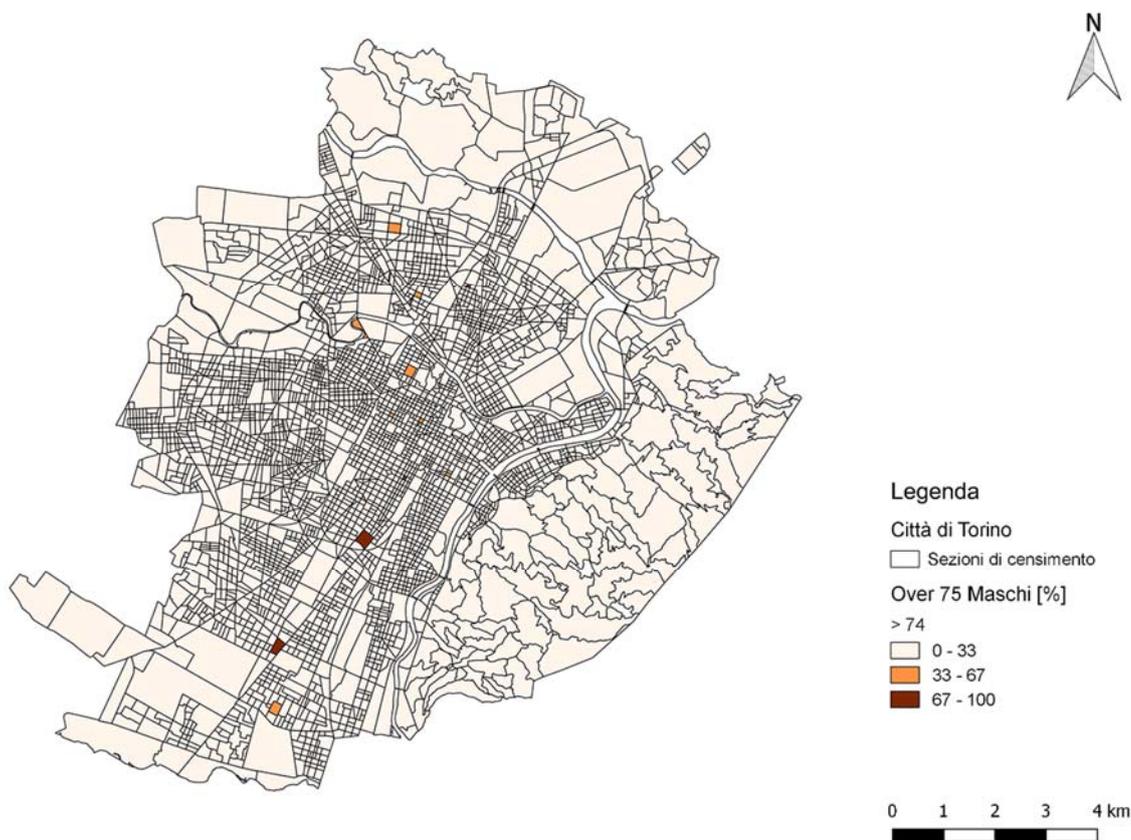


Figura 4-117: Tavola rappresentante la classificazione degli anziani di genere maschile over 74, suddivisi per sezione di censimento [produzione propria su Qgis].

Anche in questo caso la distribuzione sul territorio è molto omogeneo.

E4 – Over 75 Maschi Normalizzati su GRID

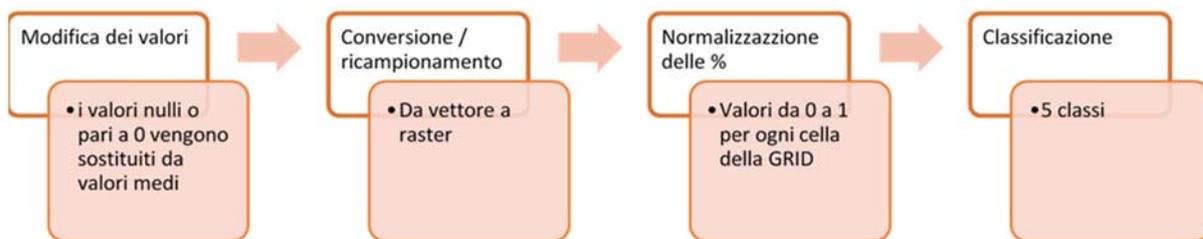


Figura 4-118: Processo per la classificazione dei valori normalizzati degli Over 74 Maschi sulla GRID [produzione propria].



Anche in questo caso prima di poter trasformare il vettore in un raster, ricampionando così le percentuali in celle da 1 km, risulta necessario sostituire i valori che nella tabella attributi si presentano nulli o pari a 0. Vengono sostituiti con la media calcolata tra tutte le percentuali espresse dall'indicatore. In seguito a tale sostituzione si può convertire il vettore in raster e subito dopo normalizzare le percentuali, ottenendo così valori tra lo 0 e 1.

E', infine, necessario classificare l'indicatore in cinque classi graduate.

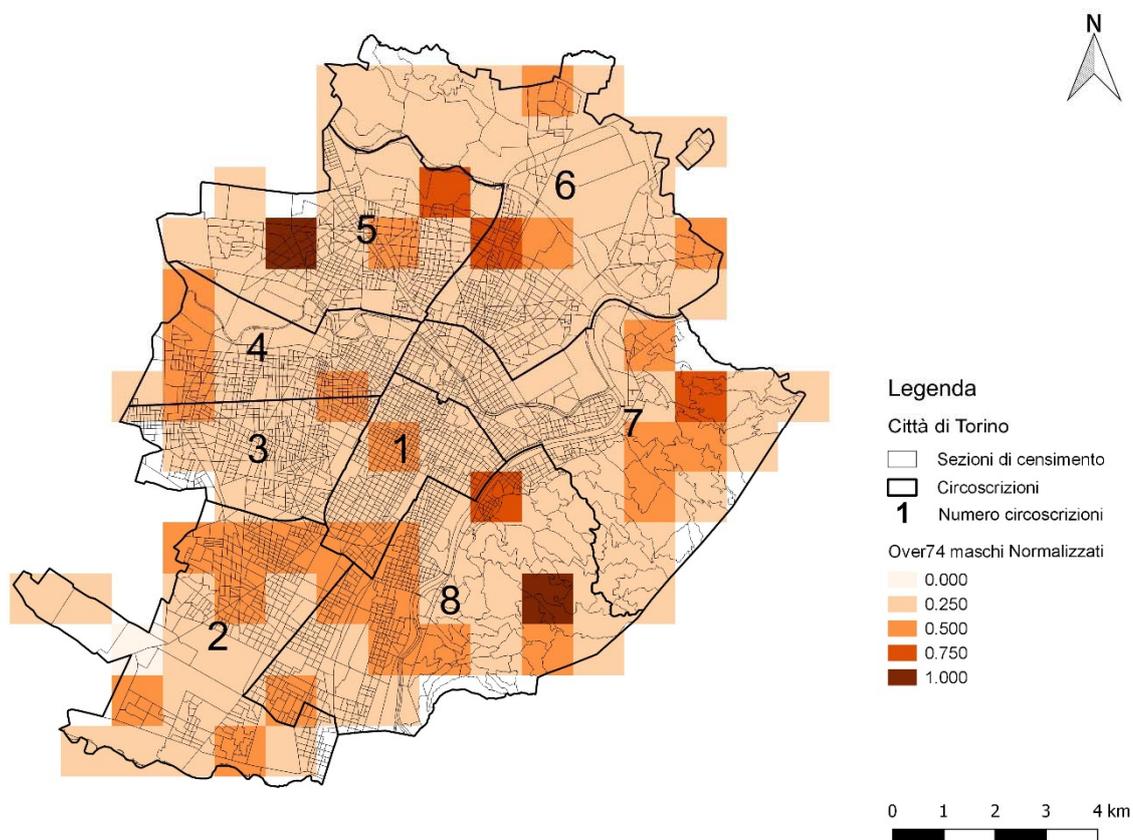


Figura 4-119: Tavola raffigurante i valori degli Over 74 Maschi o E4, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].



4.2.6.5. Over 74 Femmine



Tabella 4-42: Quarto indicatore che andrà a comporre l'esposizione, gli anziani Over 74 di genere femminile [produzione propria].

La categoria degli anziani Over 74 di genere femminile è ricavabile dai dati ISTAT del censimento del 2011 sottraendo i maschi al totale. Le variabili in considerazione sono, quindi:

- Popolazione residente-età > 74 anni corrispondente alla colonna ISTAT P29;
- Popolazione residente-maschi - età > 74 anni o P45

E5 – Over 74 Femmine

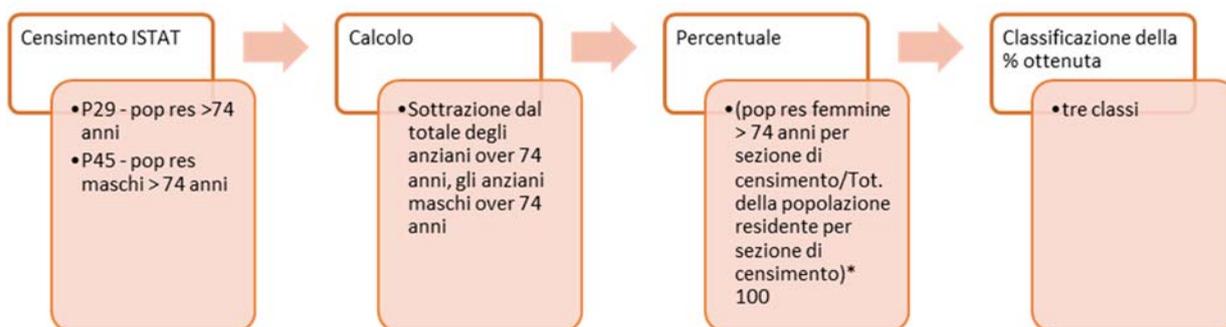


Figura 4-120: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa degli anziani Over 74 Femmine e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Dopo l'individuazione delle categorie risulta necessario, per quantificare il numero di donne anziane per sezione di censimento, svolgere un semplice calcolo, sottraendo al totale degli over 74, gli uomini over 74.

$$\text{Anziani donne over 74 anni} = \text{Popolazione residente-età} > 74 \text{ anni} - \text{Popolazione residente-maschi - età} > 74 \text{ anni}$$



Si quantifica, così, il totale dei soggetti della categoria femminile:

Genere	N° di anziani
Anziani over 75 anni	110.898
Anziani maschi over 75 anni	41.452
Anziani donne over 75 anni	69.446

Tabella 4-43: Rielaborazione dati ISTAT del 2011 sull'età dei soggetti e la rispettiva quantificazione nell'area urbana di Torino [https://www.istat.it/it/archivio/104317].

Anche in tale caso le donne risultano più longeve rispetto agli uomini e, perciò, il numero sul territorio è maggiore, anche se rispetto agli over 60, lo scarto tra i due generi è più ampio.

L'operazione è stata svolta per ogni sezione di censimento, in maniera tale che quando si carica la tabella su Qgis, sia possibile unirla con lo shapefile delle sezioni di censimento. Prima di agire su Qgis è necessario, però, calcolare la percentuale di donne over 74 sul totale di residenti, attraverso la formula:

$$E3 = \frac{\text{tot. over 74 femmine per sezione di censimento}}{\text{tot. residenti per sezione di censimento}} * 100$$

Ora è possibile classificare i dati in tre classi.

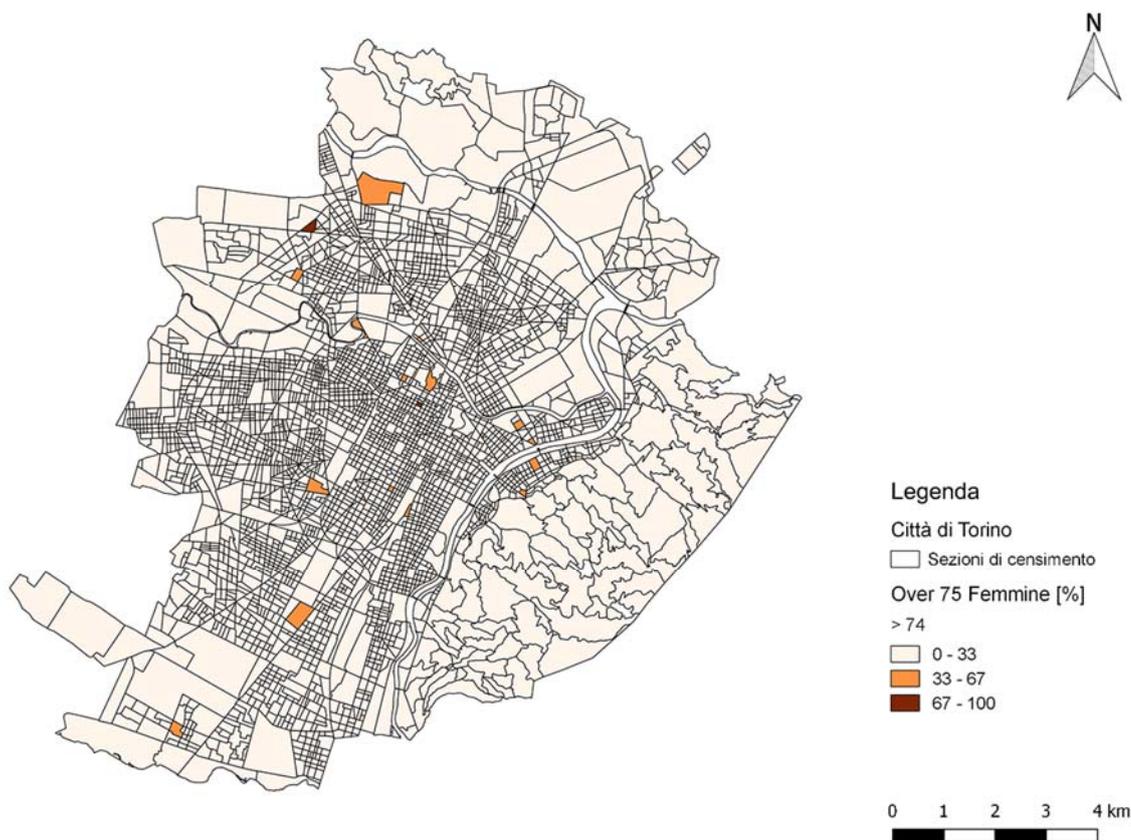


Figura 4-121: Tavola rappresentante la classificazione degli anziani di genere femminile over 60, suddivisi per sezione di censimento [produzione propria su Qgis].

Le percentuali si dimostrano numericamente basse, ma leggermente più disomogenee, con alcune concentrazioni più dense.

E5 – Over 74 Femmine Normalizzate su GRID

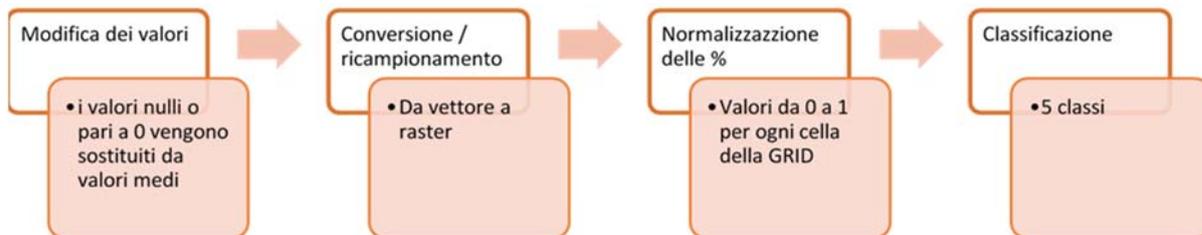


Figura 4-122: Processo per la classificazione dei valori normalizzati degli Over 74 Femmine sulla GRID [produzione propria].



Il procedimento che consente la normalizzazione dei valori e la classificazione in cinque categorie è lo stesso che precedentemente è stato realizzato per gli altri indicatori. Una volta sostituiti le percentuali che nella tabella attributi si dimostrano nulle o pari a 0 con la media stimata, si può trasformare il vettore in raster conseguendo una griglia di celle da 1 km. Sul nuovo raster si calcola la normalizzazione delle percentuali attraverso il raster calculator e infine si classifica in cinque classi.

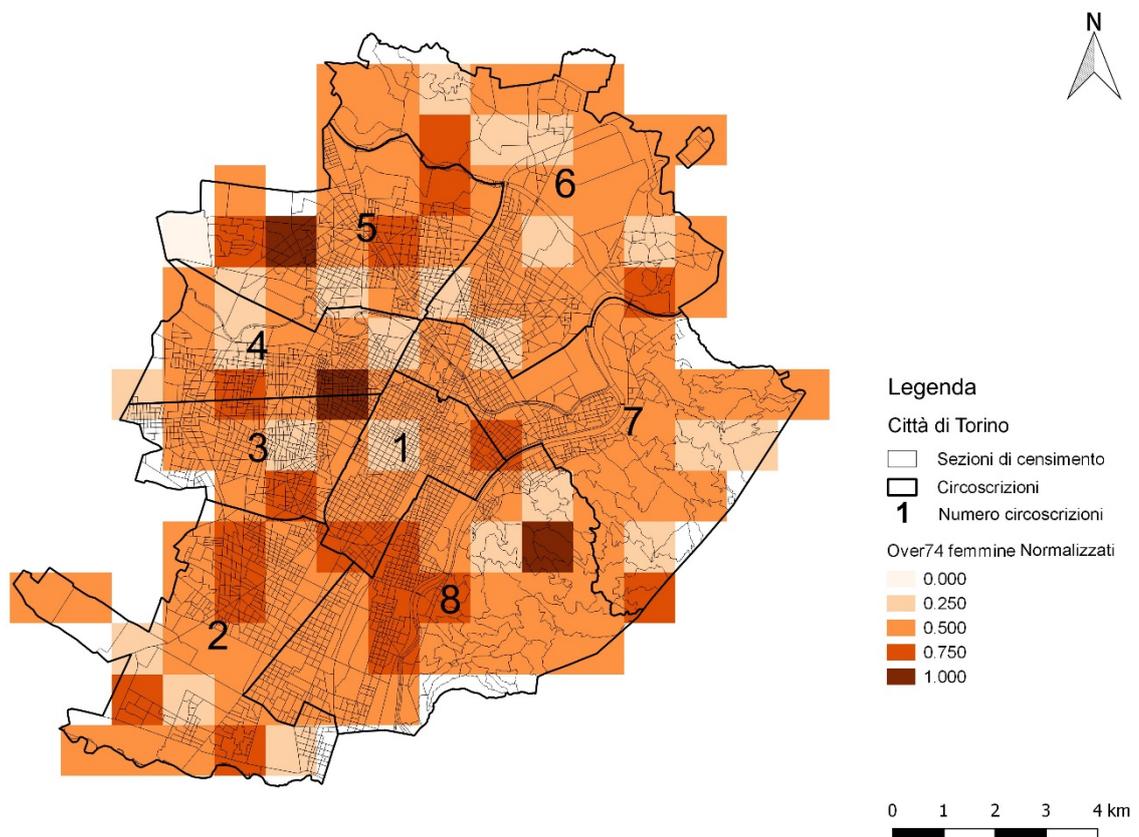


Figura 4-123: Tavola raffigurante i valori degli Over 74 Femmine o E5, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

4.2.7. STIMA DELL'ESPOSIZIONE



Figura 4-124: Processo schematico della stima dell'esposizione e la successiva classificazione [produzione propria].

La stima dell'esposizione è stata effettuata tramite un processo composto da quattro step consecutivi. Come già spiegato per la stima prima del pericolo e poi della vulnerabilità, il primo passaggio è l'utilizzo della PCA, analizzando i dati statistici risultanti, tra i quali la correlazione tra gli indicatori e le componenti principali nella matrice di covarianza e le percentuali di varianza. Il secondo step prevede, invece, il calcolo delle componenti principali e inseguito la somma di tali componenti, moltiplicate per i pesi stimati dalla varianza del file statistiche della PCA. L'ultimo passaggio è, infine, la classificazione dei valori risultanti in cinque classi.

4.2.7.1. Pesatura degli indicatori

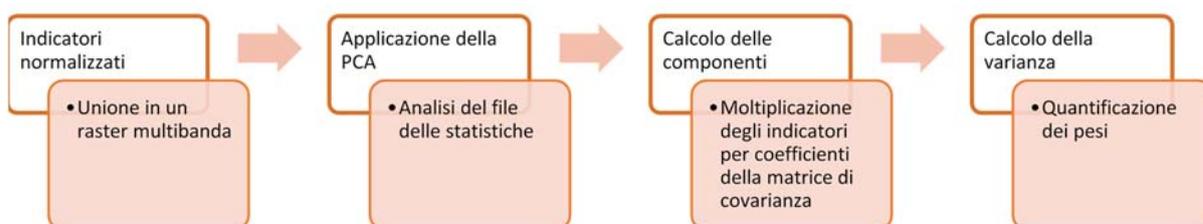


Figura 4-125: Processo schematico della pesatura degli indicatori dell'esposizione [produzione propria].

I raster che esprimono gli indicatori normalizzati vengono uniti su Qgis dando vita, così, ad un raster multibanda, su cui avviare la procedura della PCA. La tecnica produrrà una mappa e un file statistiche. Aprendo tale file si ricercano la matrice di covarianza e le percentuali che esprimono la varianza delle componenti, ovvero quanto spiegano.



```
Correlation Matrix Band1 Band2 Band3 Band4 Band5
Band1 1.000 0.763 0.671 0.767 0.687
Band2 0.763 1.000 0.780 0.883 0.867
Band3 0.671 0.780 1.000 0.772 0.800
Band4 0.767 0.883 0.772 1.000 0.866
Band5 0.687 0.867 0.800 0.866 1.000
```

```
Cov.Eigenvectors PC1 PC2 PC3 PC4 PC5
Band1 -0.417 -0.841 -0.255 -0.224 -0.056
Band2 -0.464 0.029 0.319 0.546 -0.620
Band3 -0.433 0.416 -0.787 0.130 0.053
Band4 -0.463 -0.000 0.352 0.271 0.767
Band5 -0.456 0.345 0.299 -0.749 -0.148
```

```
Bands PC1 PC2 PC3 PC4 PC5
Cov.Eigenvalues 4.149 0.361 0.252 0.121 0.117
Sum of Eigenvalues 4.149 4.510 4.762 4.883 5.000
Eigenvalues/Sum 0.830 0.902 0.952 0.977 1.000
Percentages(%) 83.0 90.2 95.2 97.7 100.0
```

Figura 4-126: Immagine rappresentante il contenuto del file statistiche prodotto dall'applicazione della PCA su Qgis. Sono evidenziate la matrice di covarianza e le percentuali di spiegazione delle variabili inserite nell'analisi [screenshot del file text].

Tenendo conto, quindi, della percentuale che giunge al 90.2%, si assumono le prime due componenti principali che rispettivamente hanno significatività pari a 83.0% e 90.2%. Nella matrice di covarianza si evidenziano, inoltre, i valori che appartengono alle due componenti e che superano la soglia apposta e corrispondente in valore assoluto a 0.3.

Cov,Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
densità_pop	-0,417	-0,841	-0,255	-0,224	-0,056
over60f	-0,464	0,029	0,319	0,546	-0,62
over60m	-0,433	0,416	-0,787	0,13	0,053
over74f	-0,463	0,000	0,352	0,271	0,767
over74m	-0,456	0,345	0,299	-0,749	-0,148

Percentages(%)	83	90,2	95,2	97,7	100

Tabella 4-44: Rappresentazione dei valori che superano la soglia prestabilita nella matrice di covarianza [produzione propria].



Una volta assegnati alle bande il nome dell'indicatore che rappresentano nella matrice, si possono calcolare le componenti principali. Realizzare questo step comporta la moltiplicazione dei coefficienti evidenziati per gli indicatori a cui coincidono e per ciascuna componente. Le due formule verranno, così, inserite nel raster calculator su Qgis, ottenendo due raster che esprimono le due componenti principali.

E_PC1

"densità_popolazione_normalizzata@1" * -0.417+

"over60femmine_normalizzate@1" * -0.464+

"over60maschi_normalizzati@1" * -0.433+

"over74femmine_normalizzate@1" * -0.463+

"over74maschi_normalizzati@1" * -0.456

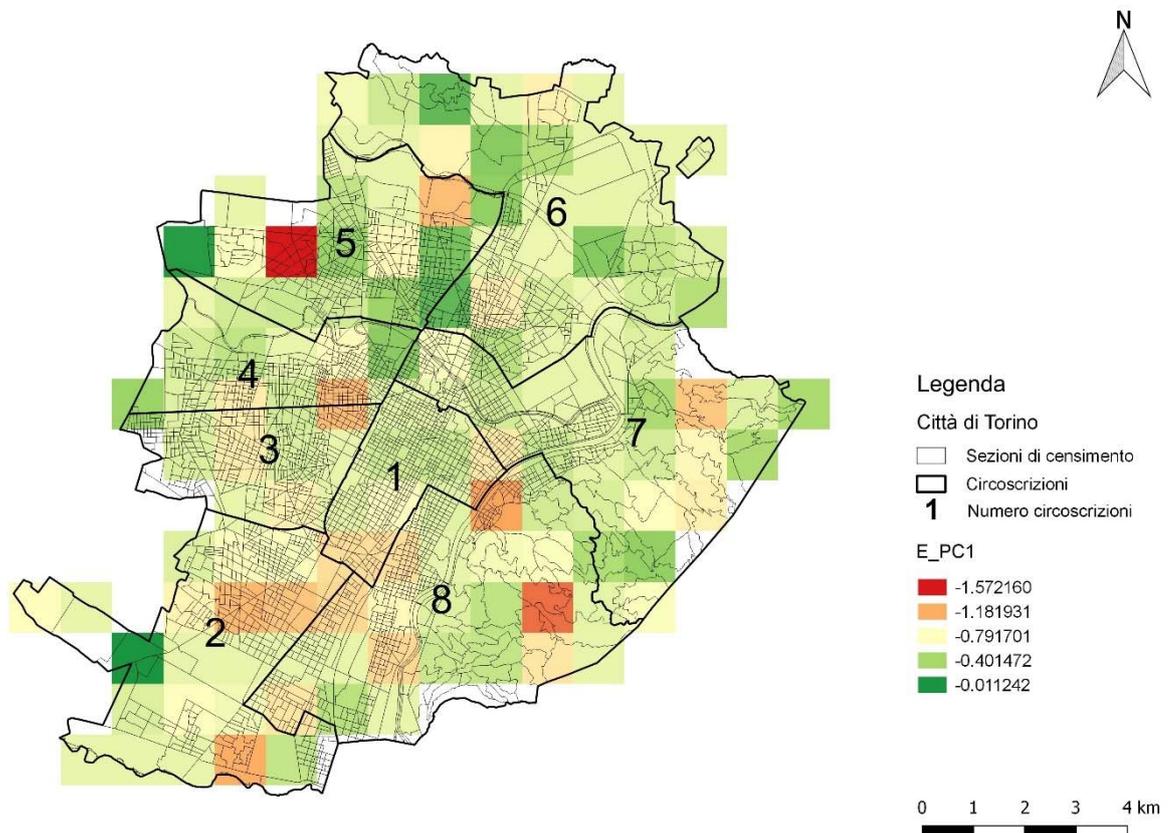


Figura 4-127: Rappresentazione grafica della prima componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis].



E_PC2

"densità_popolazione_normalizzata@1"*-0.841+

"over60maschi_normalizzati@1"*0.416+

"over74maschi_normalizzati@1" * 0.345

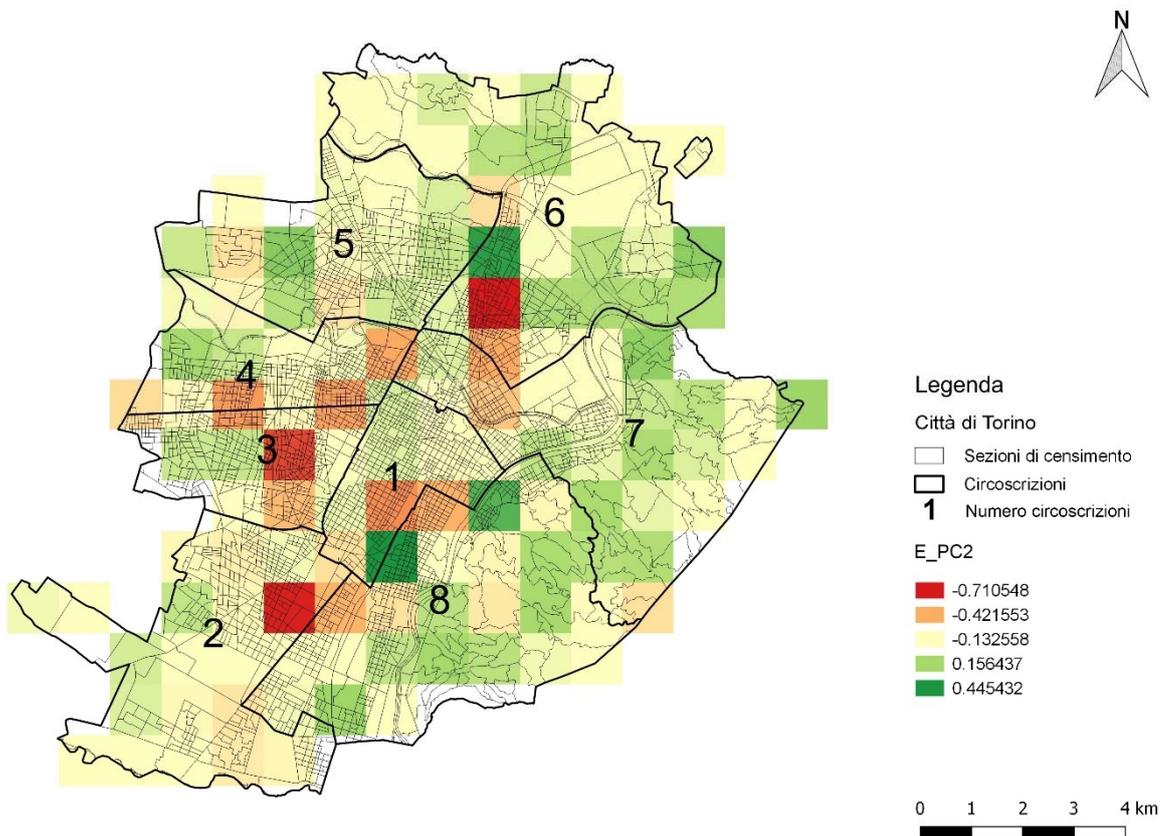


Figura 4-128: Rappresentazione grafica della seconda componente principale e dei valori stimati dal file statistiche della PCA [produzione propria su Qgis]. *****

***** La lettura delle componenti principali, realizzate grazie alla PCA, va compiuta tenendo a mente che la prima PC è quella che spiega la maggior parte dei dati, con percentuali che superano il 70%. Per questo motivo la componente composta (pericolo, vulnerabilità ed esposizione) è sempre molto simile, se non uguale, alla prima componente.

Bisogna sottolineare, inoltre, che la raffigurazione delle componenti dipende dai coefficienti con cui vengono moltiplicati gli indicatori. Spesso, infatti, quando vi è un coefficiente molto alto rispetto agli altri, la distribuzione dei valori della PC riflette quella di un solo indicatore.

Ciò ha l'utilità di mettere in risalto la presenza di alcuni indicatori e di eliminarne altri che rappresentano il rumore. Quest'ultimi, in una prossima analisi sulla stessa area, potrebbero essere direttamente esclusi dall'elaborazione, poiché ininfluenti sul risultato finale corrispondente al rischio.



Il passaggio successivo al calcolo delle componenti, consiste nel definire la varianza e i pesi, che verranno moltiplicati per esse. Nel file text delle statistiche si quantifica la differenza tra le percentuali e in seguito si suddividono i valori per la percentuale maggiore.

Percentages(%)	83	90,2	95,2	97,7	100
varianza pca	83	7,2			
pesi pca	0,920177	0,079823			

Tabella 4-45: Esplicitazione della varianza e dei pesi calcolati a partire dalle percentuali risultanti dalla PCA [produzione propria].

4.2.7.2. Somma e classificazione

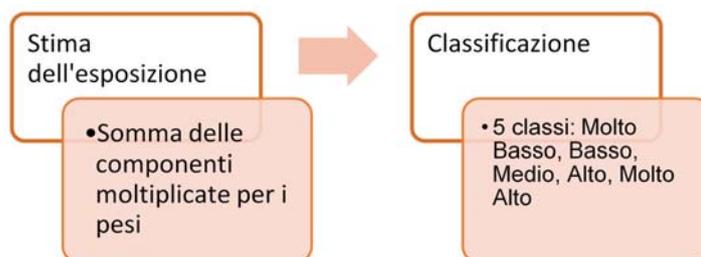


Figura 4-129: Processo schematico della somma degli indicatori e della classificazione dell'esposizione ottenuta [produzione propria].

Per stimare l'esposizione è ancora necessario sommare nel raster calculator i due raster che esprimono le componenti principali e moltiplicarli rispettivamente per i pesi quantificati in precedenza.

Indicatore composito dell'Esposizione

"e_pc1@1"*0.920177383592018+

"e_pc2@1"*0.0798226164079823

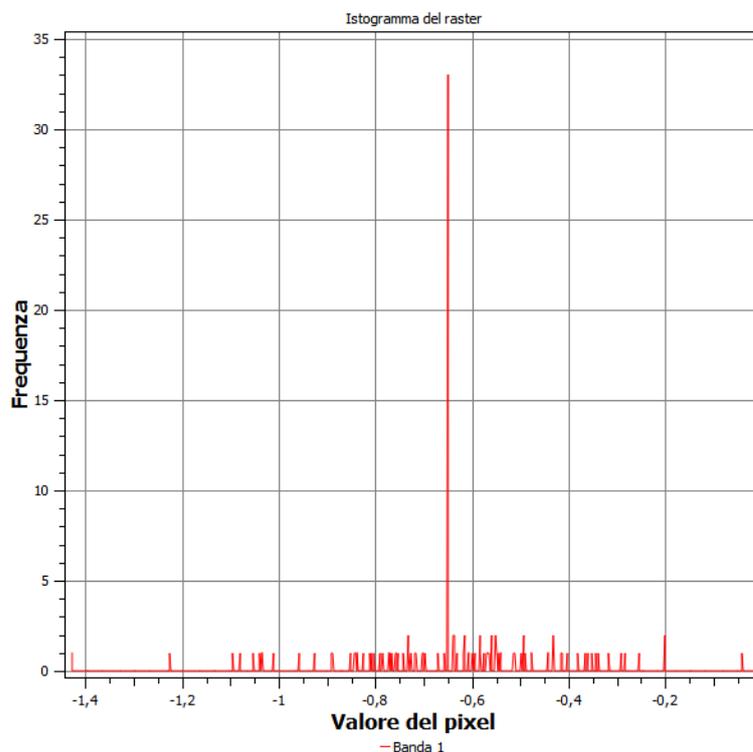


Figura 4-130: Istogramma che mette a relazione la frequenza e i valori del pixel per il raster della vulnerabilità [produzione propria su Qgis].

Il raster appena realizzato e che esprime l'esposizione deve essere classificato, seguendo la classificazione in cinque categorie con scala semaforica.

Classi di valore	Classi di esposizione
	Molto Basso
	Basso
	Medio
	Alto
	Molto Alto

Tabella 4-46: Corrispondenza tra colore e classe di esposizione che si andrà a vedere in seguito in mappa [produzione propria].

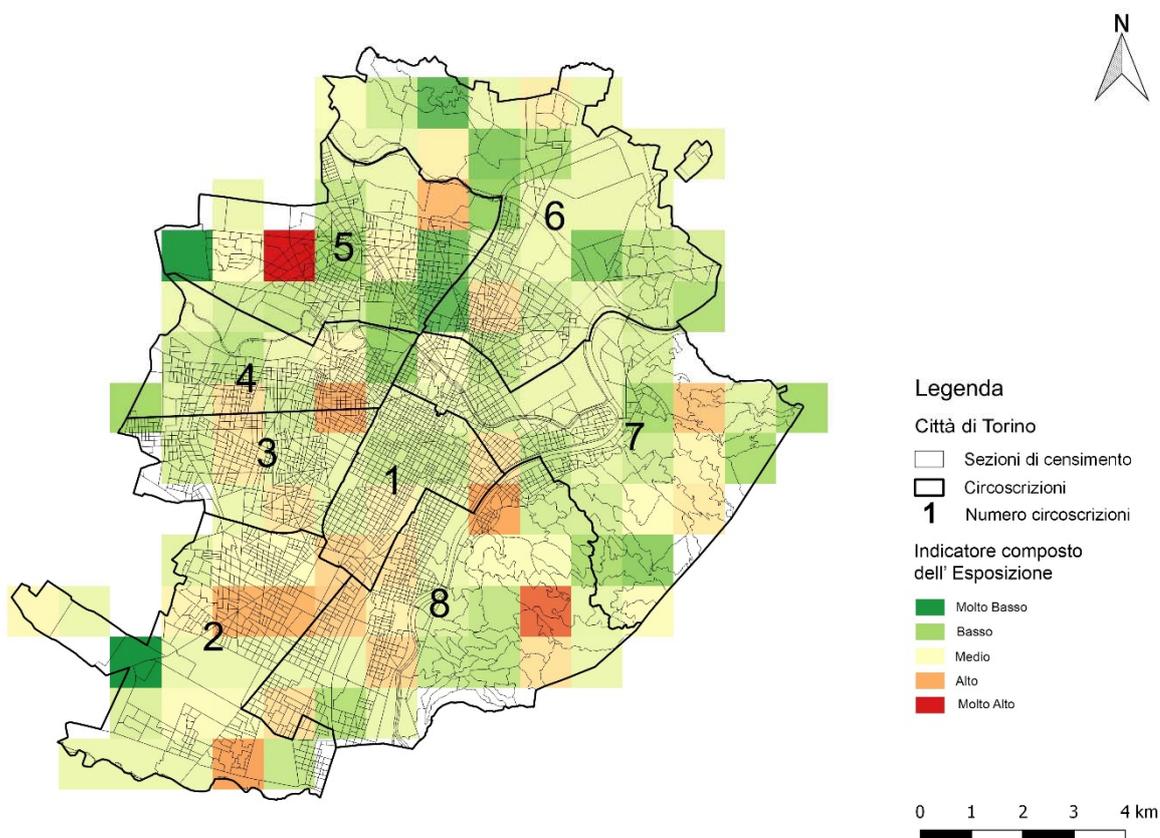


Figura 4-131: Tavola raffigurante la distribuzione dell'indicatore composto dell'esposizione sul territorio torinese [produzione propria su Qgis].

La figura dimostra come i dati si attestino su valori medi e bassi con alcuni picchi verso il basso e verso l'alto. La distribuzione, inoltre, è eterogenea non riuscendo a stabilire un andamento specifico sul territorio. Molti, invece, sono i valori medi che rispecchiano la media presenza di anziani rispetto all'area di riferimento. Ciò non vuol dire che l'esposizione sia insignificante, ma anzi influisce sul rischio, poiché sebbene le percentuali non siano altissime non devono essere sottovalutate. Bisogna evidenziare, inoltre, che osservando la distribuzione statistica dei dati si notano alcuni pixel presentanti dei valori molto lontani dalla media e che si posizionano nelle code. Ciò avviene a causa della dipendenza areale che veniva riportata già dai dati originali registrati dall'Istat. Questi valori si andranno a riflettere anche sul rischio, dove verranno corretti attraverso la classificazione.

4.3. STIMA DEL RISCHIO

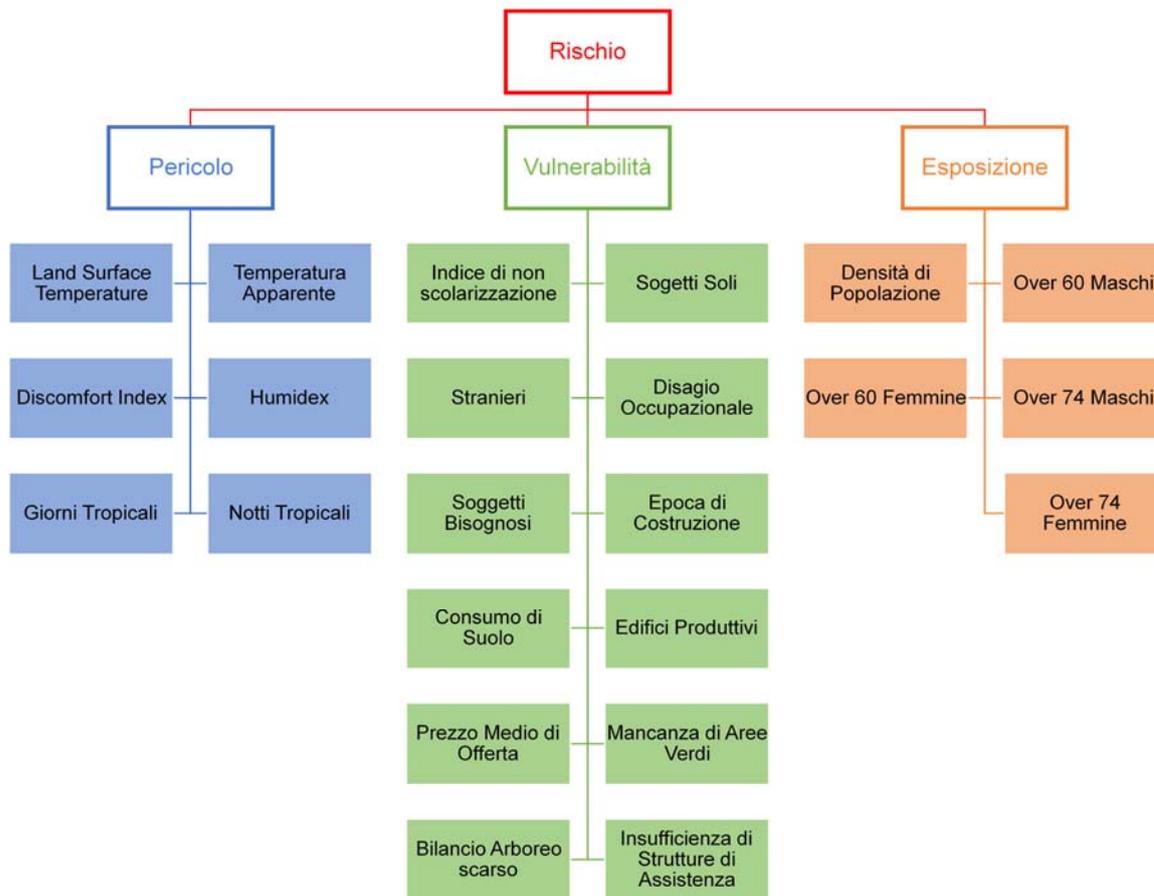


Figura 4-132: Grafico rappresentante la composizione del rischio attraverso le tre componenti del pericolo, della vulnerabilità e dell'esposizione e i corrispettivi indicatori originariamente inseriti nell'analisi [produzione propria].

Se inizialmente gli indicatori inseriti nell'analisi sono stati ventitré, in seguito alla PCA, quelli che effettivamente hanno potuto influire sul risultato si sono ridotti, soprattutto per quanto riguarda la vulnerabilità, nel quale gli indicatori erano numericamente elevati. Provando a fare un'ipotesi delle variabili che sono state pesate maggiormente e di quelle che invece sono state considerate dalla PCA come rumore, l'elenco degli indicatori influenti sarebbe:

Pericolo

- Land Surface Temperature
- Temperatura Apparente



- Discomfort Index
- Giorni Tropicali

Vulnerabilità

- Prezzo Medio di Offerta
- Strutture Assistenziali
- Indice di non scolarizzazione
- Bilancio Arboreo scarso
- Edifici produttivi
- Stranieri
- Assistiti

Esposizione

- Densità di Popolazione
- Over 60 Femmine
- Over 74 Femmine
- Over 74 Maschi

Bisogna passare ora alla conclusione dell'analisi, realizzando la mappatura del rischio. In seguito, pertanto, al calcolo delle componenti principali e dei tre indicatori compositi del pericolo, della vulnerabilità e dell'esposizione, la stima del rischio ne prevede la moltiplicazione. In riassunto, quindi, i passaggi che permettono di valutare il rischio sono due: la moltiplicazione delle tre componenti quantificate e la classificazione del risultato in cinque classi.



Figura 4-133: Rappresentazione schematica del procedimento per realizzare la quantificazione del rischio attraverso l'elaborazione delle sue componenti [produzione propria].



Prendendo i tre raster corrispondenti alle componenti composite si vanno ad inserire nel raster calculator di Qgis, dove si applica la formula:

$$R = P \times V \times E$$

dove

R = Rischio

P = Pericolo

V = Vulnerabilità

E = Esposizione

Il passaggio è molto semplice e produce un raster che esprime i valori conseguiti dalla moltiplicazione.

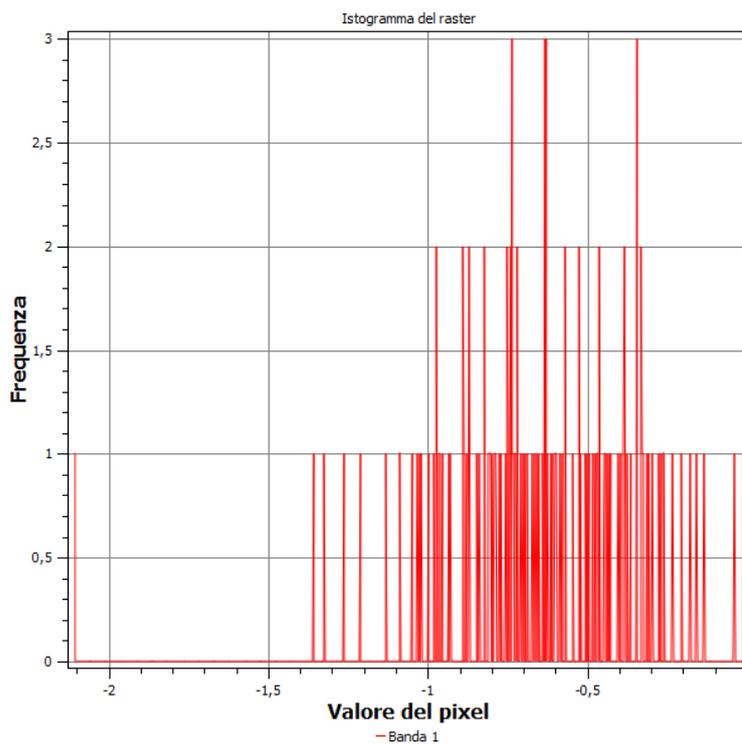


Figura 4-134: Istogramma che mette a relazione la frequenza e i valori del pixel per il raster del rischio [produzione propria su Qgis].



Come si vede dalla fig. 134 l'istogramma, che correla la frequenza e i valori del pixel del rischio, riporta una curva di valori abbastanza compatti ad eccezione della coda sulla sinistra. Questo dato sarà, infatti, da eliminare dalla classificazione poiché altrimenti andrebbe a falsare la rappresentazione. La variabile era già stata osservata nella classificazione dell'esposizione per un valore molto elevato causato dalla dipendenza areale del dato originale dell'Istat.

Eliminando la coda è possibile, quindi, classificare il raster del rischio graduando i valori in cinque classi a scala semaforica.

Classi di valore	Classi di esposizione
	Molto Basso
	Basso
	Medio
	Alto
	Molto Alto

Tabella 4-47: Corrispondenza tra colore e classe di rischio che si visualizzeranno in seguito in mappa [produzione propria].

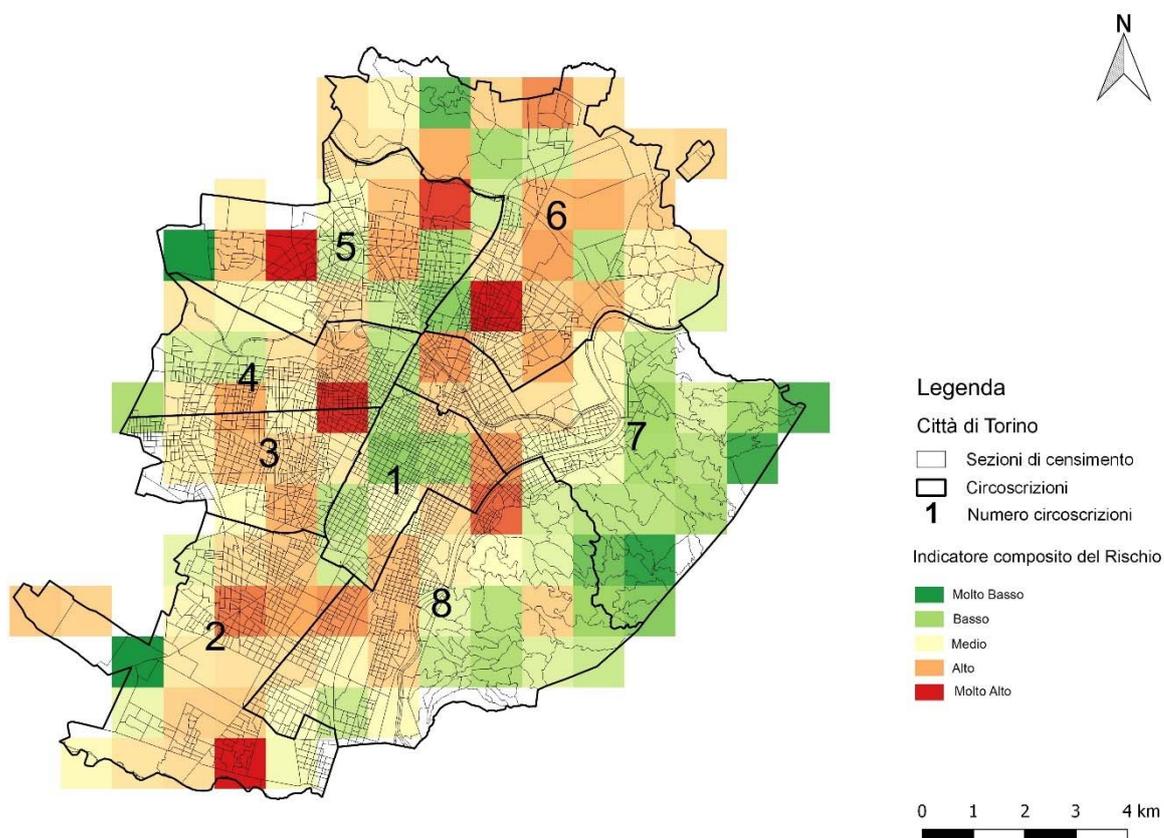


Figura 4-135: Tavola raffigurante la distribuzione dell'indicatore composto del Rischio sul territorio torinese [produzione propria su Qgis].

La tavola mostra una distribuzione del rischio molto variabile sul territorio torinese. Se, infatti, nella parte più centrale e della collina il rischio si dimostra molto basso, nelle parti più a sud, a nord e ad est della città i valori in analisi si presentano medio-alti con alcuni picchi corrispondenti alla categoria più alta. In generale, tuttavia, le circoscrizioni 2, 3, 4, 5 e 6 dimostrano una concentrazione maggiore di valori elevati, così come in parte delle circoscrizioni 7 e 8.

Si può affermare, quindi, che la gran parte delle aree torinesi sono soggette ad un potenziale impatto negativo delle ondate di calore. Questo fatto è davvero importante e preoccupante, poiché un rischio alto e molto alto comporta, durante le ondate di calore, una possibile perdita di vite umane elevata. Torino non è immune alle temperature estreme ma anzi è molto fragile da questo punto di vista. Purtroppo nonostante le strategie di adattamento come aree verdi, alberi e strutture di assistenza;



nonostante le moderne tecniche di comunicazione per l'informazione diretta dei cittadini e nonostante la diffusione delle conoscenze, le ondate di calore risultano di forte impatto sui cittadini. I riscontri negativi di tale fenomeno possono essere attribuiti ad una pianificazione errata avvenuta nei decenni passati e alle azioni poco efficaci messe in atto sul territorio. La mortalità in generale è, pertanto, nettamente cresciuta, a causa anche delle temperature che sempre più si sono incrementate nei decenni. I decessi, inoltre, legati alle temperature estreme nel periodo estivo sono aumentati, confermando che il rischio della popolazione è alto. Nello specifico il 2015 è stato un anno che ha dimostrato appieno l'evoluzione del fenomeno a causa del numeroso avvento di ondate di calore e di un elevato numero di decessi. Tuttavia ciò sarà approfondito nel successivo capitolo, nel quale verrà effettuato il confronto tra il rischio stimato e la mortalità.



5. VERIFICA DEI RISULTATI ATTRAVERSO IL CONFRONTO CON LA MORTALITÀ RILEVATA

5.1. LO SCOPO DEL CONFRONTO

Lo scopo della stima del rischio si palesa nello studio dei possibili decessi che le temperature estreme causano nei mesi estivi. Proprio per questo motivo si è deciso di verificare i risultati ottenuti precedentemente, confrontandoli con i decessi e l'eccesso di mortalità del 2015 rilevata nel periodo estivo (giugno, luglio e agosto) compreso tra il 2001 e il 2015 per gli over 65 anni. Grazie ai dati suddivisi per anno, per circoscrizione e per fascia di età, forniti dal Servizio Statistica e Toponomastica della Città di Torino e dal DoRS – Centro Regionale di Documentazione, è stato, infatti, possibile elaborare i valori della mortalità. In pratica, quindi, questi dati verranno paragonati con le informazioni espresse dalle mappe del rischio elaborate, per comprendere se il comportamento del rischio all'interno delle circoscrizioni rispecchia la mortalità avvenuta in esse. Qualora i due risultati dovessero combaciare, significherebbe che effettivamente il rischio di decessi durante i mesi estivi nella città di Torino del 2015, rispettivamente alla mortalità avvenuta in tale anno, è realistico. Lo studio effettuato porterebbe, perciò, ad un risultato efficace per il presente, ma potrebbe essere utilizzato anche per la previsione futura della mortalità. La pianificazione avrebbe, perciò, uno strumento in più per ripensare e migliorare la distribuzione e la morfologia della città del passato e del presente, ma anche per decidere la futura disposizione delle aree tenendo appunto in considerazione il rischio in maniera tale da ridurre l'impatto sulla popolazione. Lo studio effettuato sulle ondate di calore non deve essere, infatti, fine a se stesso, ma deve costituire una nuova metodologia di indagine sul territorio per salvaguardare la città e la sua popolazione, nel momento della pianificazione e della progettazione sulla città esistente ma anche su quella in programma. Un territorio pianificato nel modo giusto incide, infine, non solo sulla riduzione del rischio ma anche sulla diminuzione dei costi sociali, economici, sanitari e ambientali.

5.2. IL CONFRONTO APPLICATO AL CASO STUDIO

5.2.1. GLI INDICATORI DI RIFERIMENTO DELLA MORTALITÀ

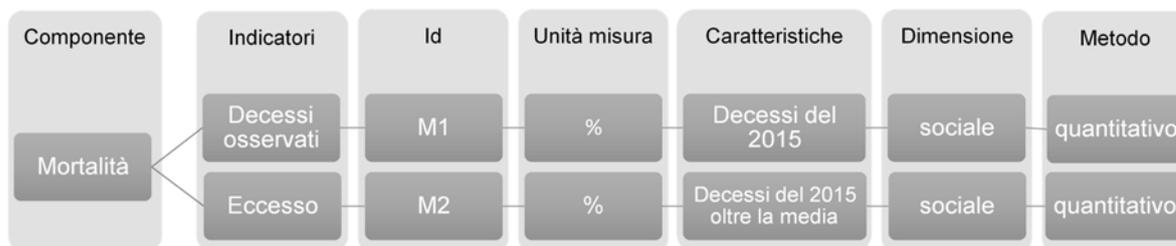


Tabella 5-1: Grafico rappresentante gli indicatori che definiscono la mortalità [produzione propria].

Prendendo i dati della mortalità degli Over 65 anni, dal 2001 al 2015 nel periodo estivo e suddivisi per circoscrizione, sono stati messi in ordine di anno, calcolandone poi la sommatoria e in seguito la media. Quest'ultima viene considerata, infatti, come l'evoluzione dei decessi nei quindici anni del periodo di riferimento e anche come la previsione dei decessi che potrebbero avvenire in un determinato anno. Nel caso di studio l'anno in considerazione è il 2015 e perciò si accosteranno i decessi registrati nel 2015 con la media quantificata grazie alle informazioni dei quindici anni esaminati. Sottraendo poi dai morti del 2015 la media, si otterranno gli eccessi positivi e quindi in più rispetto alla media, o viceversa negativi, della mortalità. Si capirà, così, se l'anno in questione è stato particolarmente rischioso e dimostra una mortalità maggiore rispetto la media, ovvero particolarmente alta rispetto agli anni precedenti.



Figura 5-1: Rappresentazione schematica del procedimento per realizzare la classificazione dei decessi e in seguito dell'eccesso di mortalità attraverso l'elaborazione dei dati [produzione propria].



5.2.1.1. Numero di decessi osservati

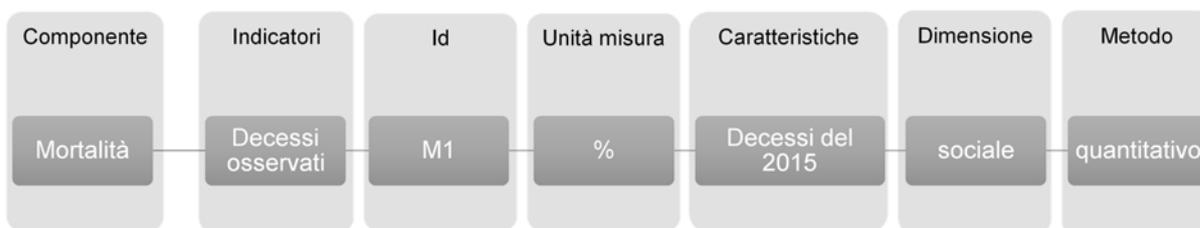


Tabella 5-2: Indicatore indicante i decessi osservati del 2015 [produzione propria].

Nello specifico è stato adottato il numero di morti per giugno, luglio e agosto del 2015 degli anziani Over 65 anni, suddivisi per circoscrizione.

circoscrizione	2015
c1	186
c2	491
c3	325
c4	228
c5	334
c6	266
c7	235
c8	415

Tabella 5-3: Numero di decessi avvenuti nel 2015 per quanto riguarda gli anziani Over 65 anni. Il dato è ripartito per circoscrizione [produzione propria da dati del Servizio Statistica e Toponomastica della Città di Torino e del DoRS – Centro Regionale di Documentazione]

M1 – Decessi osservati

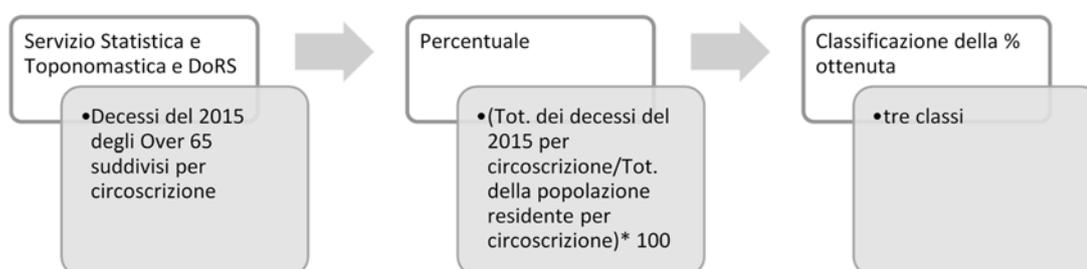


Figura 5-2: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dei Decessi osservati e classificazione secondo tre classi [produzione propria].



Una volta reperiti i dati, si è effettuata la percentuale tra il numero di decessi estivi degli Over 65 anni per circoscrizione e il numero totale di residenti per circoscrizione, in modo tale che una volta trasformato il risultato graficamente, si percepisca in quale circoscrizione il numero di morti è maggiore e dove minore, proporzionatamente alla popolazione residente. La formula utilizzata per quantificare la percentuale è, quindi:

$$\text{Decessi} = \frac{\text{tot. deceduti nei mesi estivi per circoscrizione}}{\text{tot. residenti per circoscrizione}} * 100$$

I valori ottenuti dai calcoli e dalle trasformazioni su Qgis, vengono rappresentati in mappa attraverso tre classi.

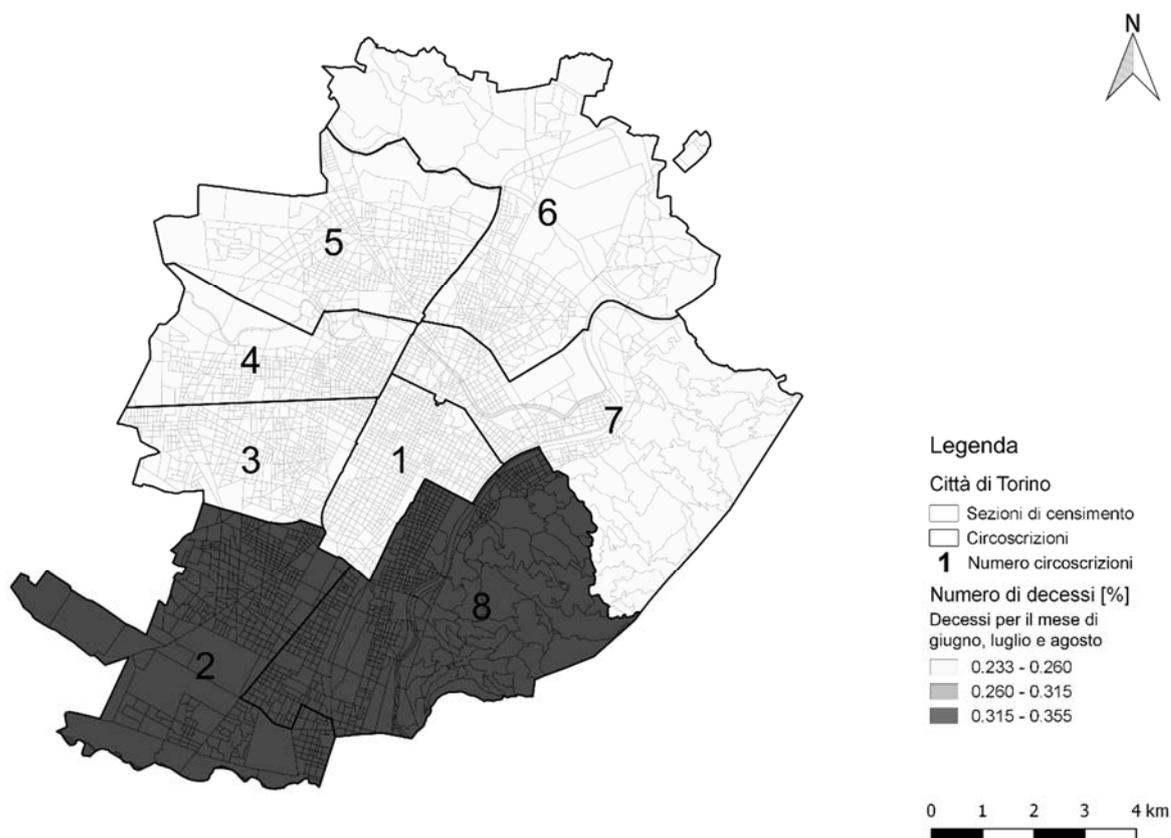
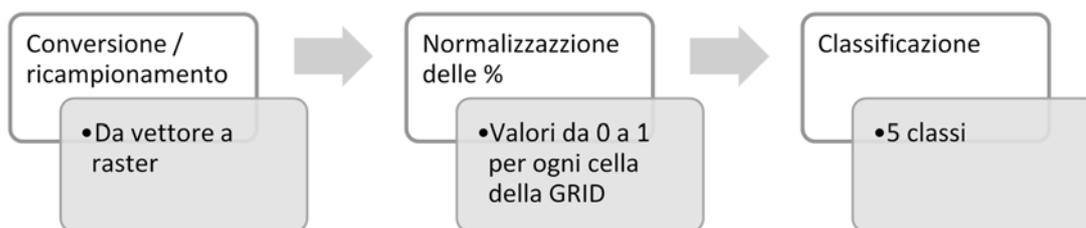


Figura 5-3: Tavola rappresentante la classificazione del numero di decessi suddivisi per circoscrizioni [produzione propria su Qgis].

L'esito dimostra che in particolare le circoscrizioni più a sud sono quelle con un numero maggiore di morti.



M1 – Decessi osservati Normalizzati su GRID



*Figura 5-4: Processo per la classificazione dei valori normalizzati dei decessi osservati nel 2015
[produzione propria].*

Le percentuali ottenute nello shapefile a livello di circoscrizioni vanno ora ricampionate attraverso lo strumento di Grass Gis definito come v.to.raster.attribute. Tale programma permette di ottenere un file raster costituito da celle di grandezza 1 km per 1 km. Si può, così, passare a quantificare la normalizzazione delle percentuali per ogni cella e in seguito classificare i valori in cinque categorie su scala semaforica, per facilitare il successivo confronto con il rischio.

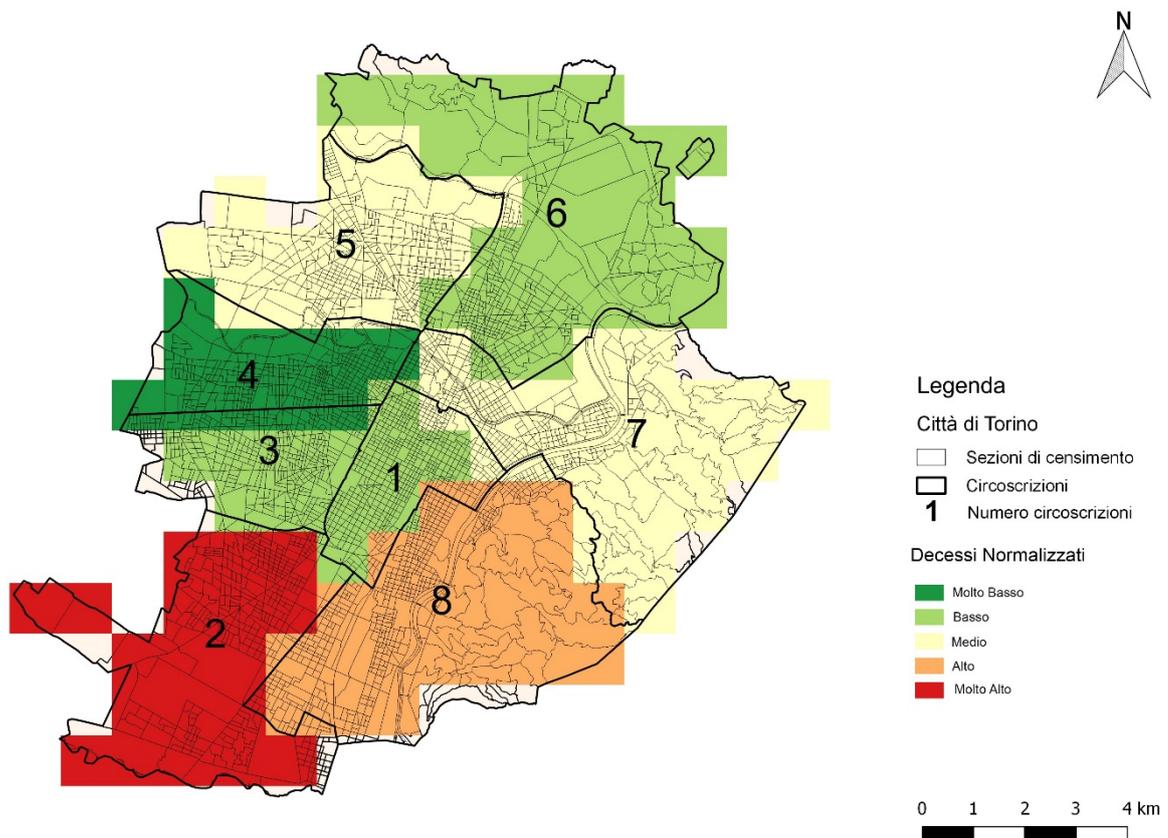


Figura 5-5: Tavola raffigurante i valori dei decessi osservati o M1, normalizzati su GRID [produzione propria su Qgis].

5.2.1.2. Eccesso di mortalità

Componente	Indicatori	Id	Unità misura	Caratteristiche	Dimensione	Metodo
Mortalità	Eccesso	M2	%	Decessi del 2015 oltre la media	sociale	quantitativo

Tabella 5-4: Indicatore indicante l'eccesso di mortalità [produzione propria].

Proprio per riuscire ad individuare l'esposizione degli individui è utile precisare l'eccesso della mortalità. Questo indicatore consente, infatti, di calcolare e prevedere gli eventi sanitari in eccesso, misurati come la differenza tra i decessi attesi e quelli,



invece, registrati nel 2015. Viene rappresentato, quindi, in modo chiaro l'impatto fisiologico che il caldo estremo ha sulla salute degli individui. Eccedere oltre ai ricoveri e ai decessi già previsti significa, infatti, che il caldo ha raggiunto livelli estremi e pericolosi, o che le temperature si sono alzate in un periodo anomalo e di conseguenza la popolazione è particolarmente esposta.

M2 – Eccesso di mortalità

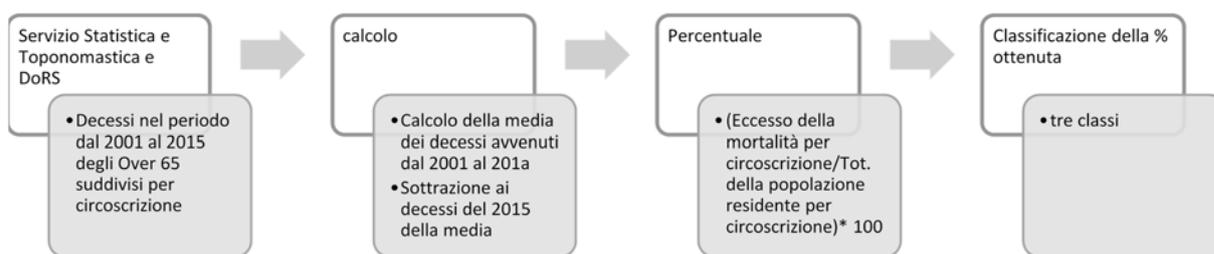


Figura 5-6: Procedimento utilizzato per realizzare la prima elaborazione che produrrà la mappa dell'eccesso della mortalità e classificazione secondo tre classi [produzione propria].

Il processo per calcolare l'eccesso di mortalità consiste nel conteggiare il numero di decessi attesi e in seguito sottrarre quest'ultimi al numero di morti osservati nel 2015. Per quanto riguarda il valore degli attesi è necessario assumere i morti per circoscrizione dal 2001 al 201a e sommarli per trovare il numero totale di morti per circoscrizione. Suddividendo questo valore per quattordici, si avrà la media, corrispondente ad un valore rappresentante i decessi attesi. Questo poiché il numero costituisce una sorta di valore soglia in grado di dimostrare l'andamento nel tempo e che cosa ci si aspetta da tale tendenza.

In seguito per calcolare il numero in eccesso di morti per circoscrizione, basterà sottrarre dal numero totale di decessi osservati nei mesi estivi del 2015, il valore degli attesi appena quantificato.



circos.	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	somma	media	eccesso
c1	161	146	184	121	130	149	166	171	182	221	185	154	175	146	186	2.291	164	22
c2	266	354	382	263	335	318	405	417	428	368	379	410	411	397	491	5.133	367	124
c3	220	222	309	209	211	251	278	285	284	274	306	284	276	279	325	3.688	263	62
c4	155	144	214	175	140	170	197	233	202	231	233	199	237	226	228	2.756	197	31
c5	179	170	224	166	175	190	239	267	248	242	261	269	289	257	334	3.176	227	107
c6	152	172	190	166	152	168	182	202	216	199	211	215	227	212	266	2.664	190	76
c7	129	164	207	156	165	148	186	213	197	211	189	188	202	165	235	2.520	180	55
c8	283	271	313	257	312	314	345	435	384	371	389	376	427	358	415	4.835	345	70

Tabella 5-5: Rappresentazione del numero di decessi, suddiviso per circoscrizioni e anni. Al fondo della tabella sono presenti la sommatoria e la media dei decessi avvenuti durante il periodo di tempo preso in considerazione [produzione propria da dati del Servizio Statistica e Toponomastica della Città di Torino e del DoRS – Centro Regionale di Documentazione].

circoscrizione	media	2015	eccesso mortalità
c1	164	186	22
c2	367	491	124
c3	263	325	62
c4	197	228	31
c5	227	334	107
c6	190	266	76
c7	180	235	55
c8	345	415	70

Tabella 5-6: Numero di decessi del 2015 in eccesso rispetto alla media calcolata tra il 2001 e il 2014 [produzione propria da dati dell'Osservatorio di Torino].

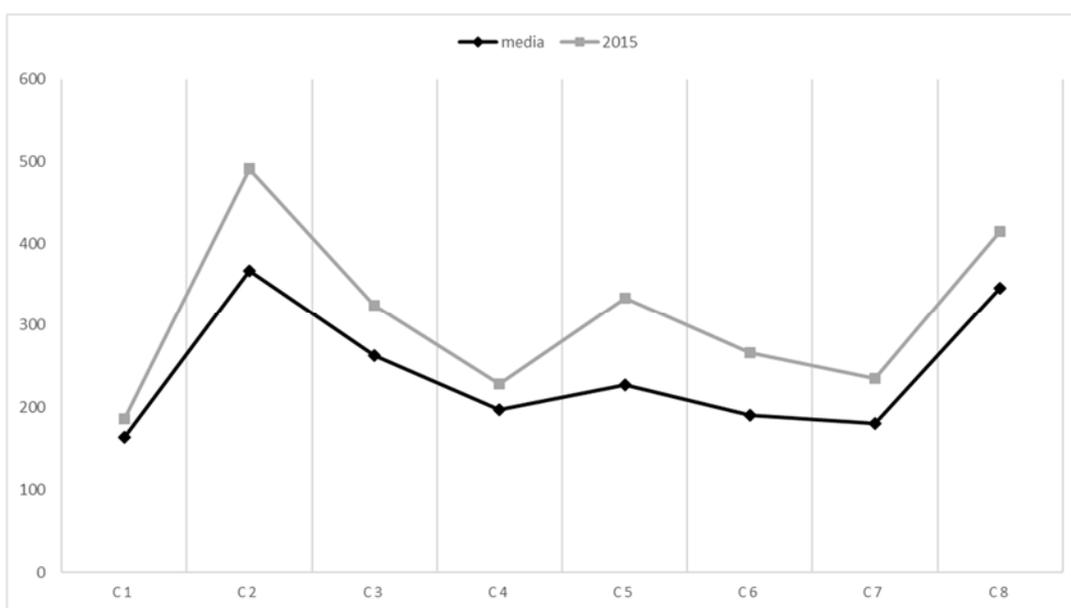


Figura 5-7: Rappresentazione grafica della media dei decessi avvenuti nei quindici anni presi in considerazione e i decessi avvenuti nel 2015 [produzione propria da dati dell'Osservatorio di Torino].



Il grafico dimostra come i decessi nel 2015, in tutte le circoscrizioni, sono superiori alla media quantificata per il periodo compreso tra il 2001 e il 2014. Si può osservare, quindi, che effettivamente vi è un eccesso di mortalità in surplus, corrispondente allo spazio tra la linea rappresentante la media o decessi attesi e la mortalità registrata nel 2015.

Prima di rappresentare i valori graficamente si deve ancora svolgere l'ultimo passaggio ovvero effettuare la percentuale tra i decessi in eccesso e il totale della popolazione residente per circoscrizione tramite la formula:

$$M2 = \frac{\text{tot. deceduti in eccesso nei mesi estivi per circoscrizione}}{\text{tot. residenti per circoscrizione}} * 100$$

Il risultato grafico consiste in una mappa rappresentante le zone in cui l'eccesso di morti è numericamente elevato e ciò significa che ci sono stati molti più decessi rispetto alle previsioni medie.

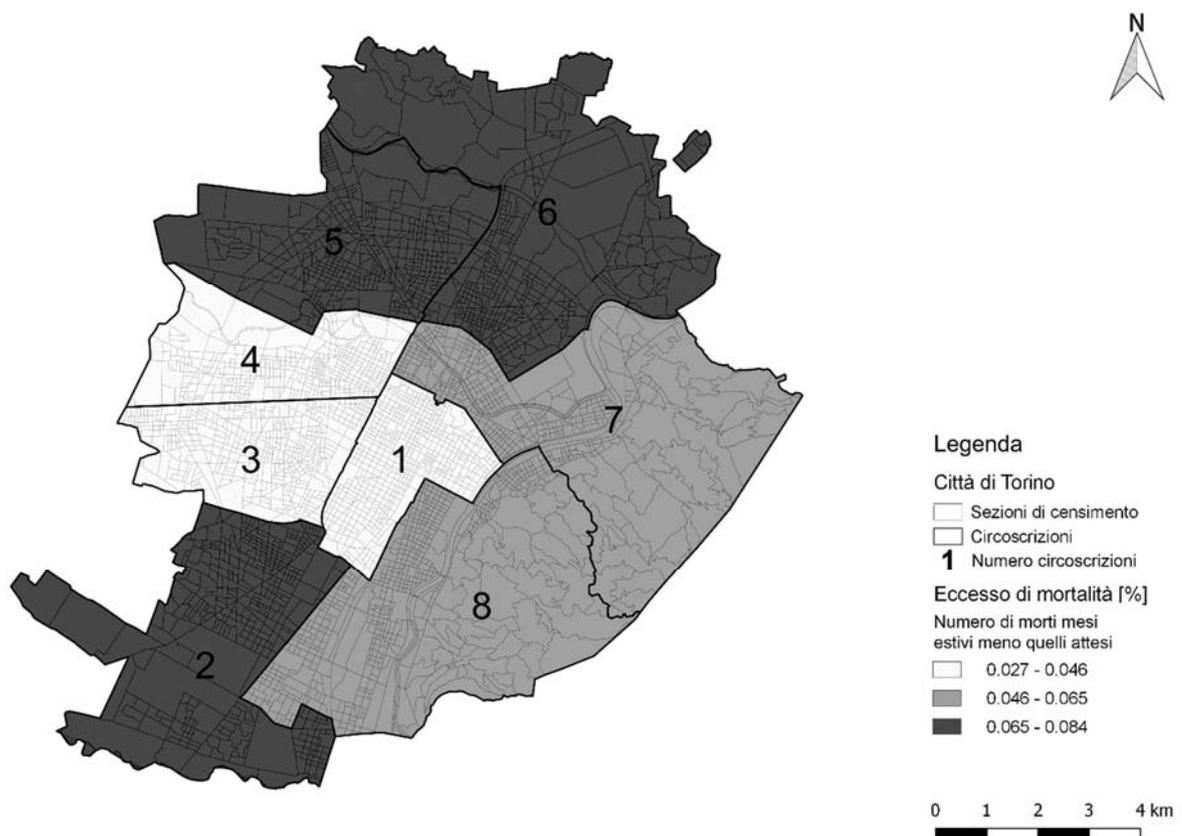


Figura 5-8: Tavola rappresentante la classificazione del numero di decessi in eccesso rispetto a quelli attesi, suddivisi per circoscrizioni [produzione propria su Qgis].



Il risultato dimostra come le circoscrizioni 2, 5 e 6 presentino le percentuali più elevate, mentre le circoscrizioni 8 e 7 si assestano su valori medi.

M2 – Eccesso di mortalità Normalizzato su GRID

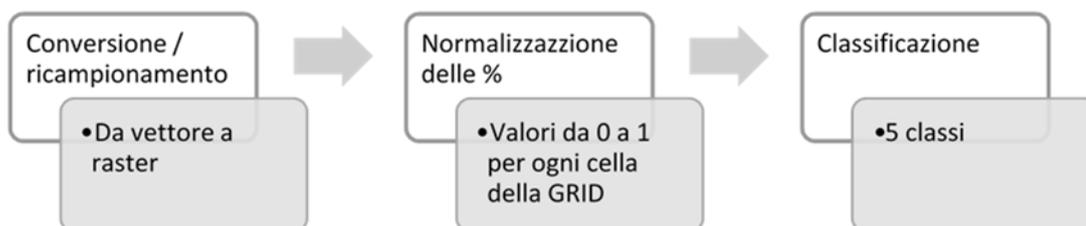


Figura 5-9: Processo per la classificazione dei valori normalizzati dell'eccesso di mortalità [produzione propria].

Lo shapefile che contiene le percentuali quantificate vengono trasformate in raster e i dati sono ricampionati in una griglia di celle da 1 km. Basterà ora normalizzare i dati nel raster calculator con la formula utilizzata già in precedenza:

$(\text{Eccesso di mortalità} - \text{valore minimo}) / (\text{valore massimo} - \text{valore minimo})$

Si può, infine, classificare in cinque classi a scala semaforica. La decisione della scala semaforica ricade sulla maggiore confrontabilità con il rischio.

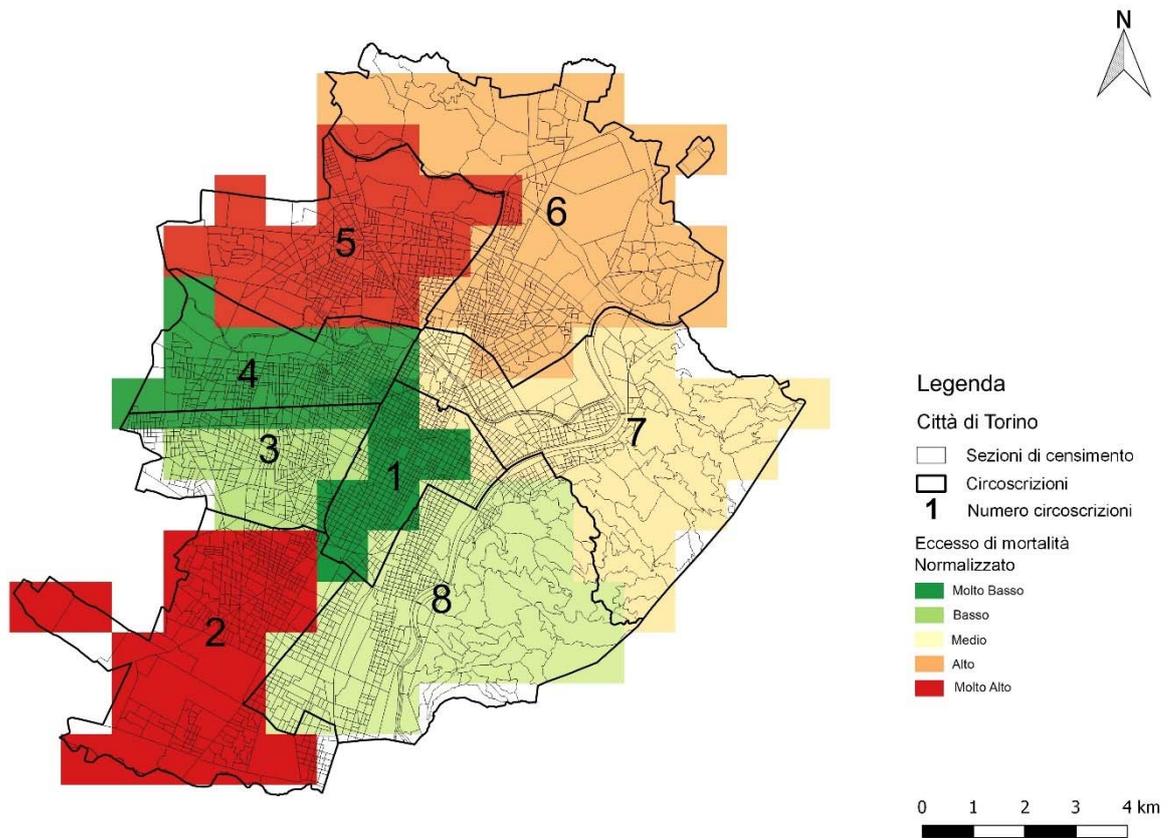


Figura 5-10: Tavola raffigurante i valori dell'eccesso di decessi o M2, normalizzati su GRID
[produzione propria su Qgis].



5.2.2. LA VERIFICA

Per effettuare la verifica si prendono a confronto i valori calcolati per il rischio e i dati elaborati nell'eccesso di mortalità. Sebbene i risultati considerati presentino una differente ripartizione, in quanto gli eccessi di mortalità sono rappresentati su circoscrizioni e il rischio invece per celle della griglia, non si è potuto rimediare. Le variabili per quantificare la mortalità sono state, infatti, fornite dal Servizio Statistica e Toponomastica della Città di Torino e dal DoRS per circoscrizioni, poiché per sezioni di censimento non erano fruibili.

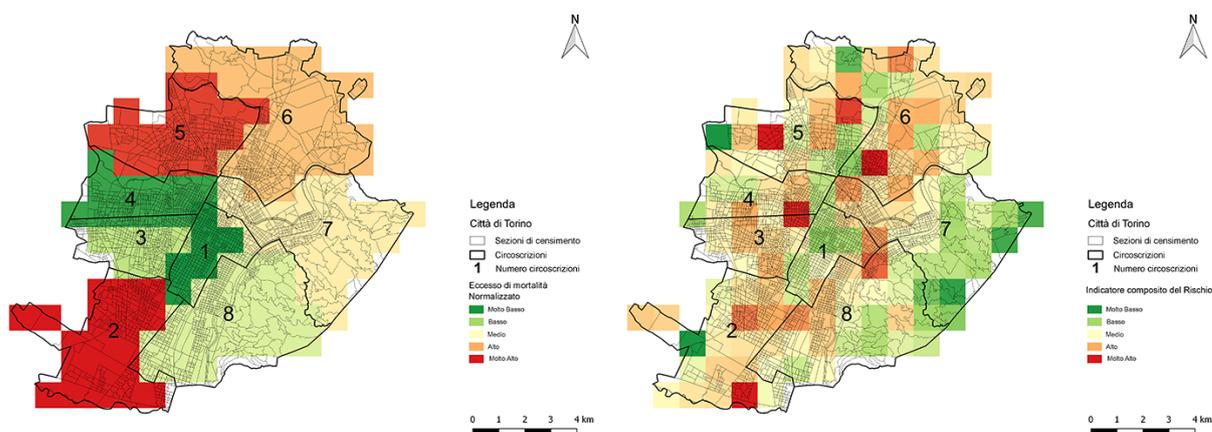


Figura 5-11: Confronto tra l'eccesso di mortalità e il rischio [produzione propria].

Il risultato del confronto è abbastanza soddisfacente. Sebbene, infatti, non siano perfettamente assimilabili, la verifica si può ritenere positiva. Bisogna innanzitutto sottolineare che le due rappresentazioni sono comparabili per le condizioni dimostrate da alcune zone della città. La circoscrizione 1 presenta, infatti, un valore minimo degli eccessi di mortalità e un rischio altrettanto basso, mentre le circoscrizioni 2, 5 e 6 presentano valori alti e molto alti sia per i decessi in eccesso che per il rischio. Le differenze meno significative si riscontrano all'interno della circoscrizione 7 e 8, dove l'informazione del rischio assume dei valori molto eterogenei che si possono riassumere in un range da basso ad alto, a seconda dell'area considerata. Nella zona collinare, infatti, il rischio è basso rispetto agli isolati urbani. Nelle stesse circoscrizioni,



ma per l'eccesso di mortalità, l'intervallo dei valori si ripete andando dal basso per la 8 e medio-alto per 7. Ovviamente in questo caso la distribuzione è uniforme poiché è stata elaborata l'intera macro-ripartizione nel suo complesso.

Le discrepanze maggiori sono, invece, riscontrabili nelle circoscrizioni 3 e 4. Se, infatti, i decessi in eccesso mostrano dei valori molto bassi e bassi, all'opposto il livello di rischio si presenta nelle stesse circoscrizioni alto e molto alto. Le ipotesi per spiegare queste diversità escludono che siano frutto di errori grossolani ma vertono sulla qualità e sul tipo di indicatore inserito nella stima delle tre componenti del rischio. All'interno della vulnerabilità sono compresi, infatti, anche gli indicatori dell'adattamento. Se si osservano le rappresentazioni grafiche delle Aree Verdi e delle Strutture Assistenziali si nota proprio come l'adattamento nelle circoscrizioni 3 e 4 abbia valori molto bassi. Altri indicatori presentano al contrario valori molto alti nelle stesse circoscrizioni, come ad esempio l'indicatore bioclimatico delle notti tropicali e quello dell'esposizione composto dagli anziani over 60 anni.

In conclusione il risultato è comunque soddisfacente, ma potrebbe avere grande margine di miglioramento. Le criticità sono, infatti, numerose e le principali si rispecchiano su alcuni fattori. Uno di questo è aver elaborato indicatori espressi per sezioni di censimento e altri sulle circoscrizioni che causa la diminuzione della precisione del risultato. La combinazione, inoltre, del vasto numero di indicatori in campo è davvero significativa comportando spesso l'unione di valori da una parte molto alti e dall'altra molto bassi. In generale, tuttavia, la distribuzione del rischio rispecchia l'accostamento di molti fattori quali la morfologia e la struttura della città, la ripartizione degli elementi dell'adattamento sul territorio, gli aspetti sociali come la povertà e l'anzianità e infine il cambiamento climatico.

Insomma guardare all'eccesso di mortalità e al rischio simultaneamente è, pertanto, l'opzione migliore, in grado di arricchire la pianificazione e di condizionare la futura previsione di azioni sul territorio. Solo comprendendo dove il rischio e i decessi in eccesso hanno valori alti e molto alti si può operare consapevolmente sulla città, nel caso di nuove costruzioni, di ampliamenti, di ristrutturazioni, di riqualificazioni o di politiche sociali e sanitarie. In tutti questi casi le azioni dovranno essere giustificate dal potenziale impatto negativo che le ondate di calore potrebbero avere sulle varie zone



di Torino e soprattutto sui suoi abitanti, implicando morti e la previsione di un possibile aumento di quest'ultimi in futuro. La relazione tra analisi del rischio da ondate di calore e pianificazione dovrà essere sempre più stretta e assumere sempre più importanza, con lo scopo di assicurare comfort e salute ai cittadini della città. Una relazione ormai necessaria che mette a rapporto il territorio e il cambiamento climatico.

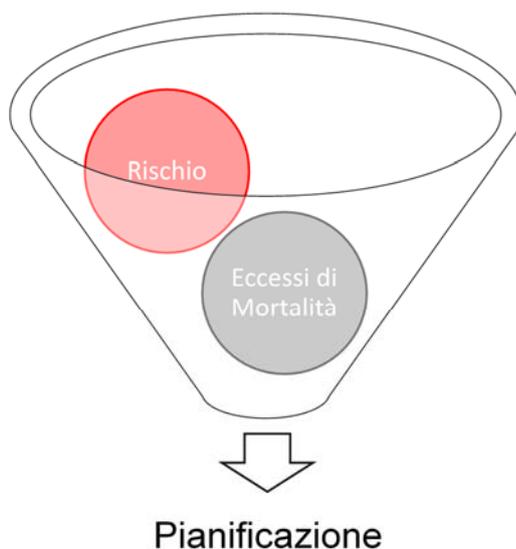


Figura 5-12: Esempificazione del processo che comprende l'analisi del rischio e l'analisi degli eccessi di mortalità per poter pianificare il territorio in grado di assicurare il comfort e la salute dei cittadini [produzione propria].



6. CONCLUSIONI

Questo esperimento, nato dalla consapevolezza dei cambiamenti climatici e dalla scarsa preparazione nell'affrontarli da parte della città di Torino, ha portato a dei risultati esaurienti. I dati rispecchiano le problematiche riscontrate sul territorio e dalle condizioni dei suoi stessi abitanti, ma ancora molto vi è da fare per migliorare la situazione climatica. L'analisi effettuata è un primo passo per costituire una nuova regola della pianificazione. Le temperature estive diventano, infatti, sempre più estreme, acutizzandosi come testimoniato sia dai molteplici studi riportati e sia dalla Land Surface Temperature elaborata, con la conseguenza che anche i decessi estivi stanno aumentando e aumenteranno sempre di più se non si prendono provvedimenti. Oltre alla mortalità vi è anche da considerare il discomfort e il malessere che i residenti provano durante i mesi estivi, con esiti negativi sullo stato d'animo, sulle capacità lavorative e sulla sanità. In estate, infatti, aumentano anche i costi sanitari a causa dei tantissimi ricoveri che si effettuano. Tutto ciò è particolarmente accentuato in grandi città come Torino, a causa dell'isola di calore che ristagna tutto l'anno, a causa della morfologia e della struttura della città, che mostra insufficienti aree verdi e pochi corridoi del vento. L'analisi del rischio da ondate di calore è, quindi, una valida opzione come analisi ex ante prima di agire sul territorio, in maniera tale da poter correggere gli errori fatti in passato, per poter ottimizzare e riqualificare le aree maggiormente colpite e soprattutto per non aggravare le situazioni in zone già critiche. Potrebbe sembrare banale ma nella pianificazione considerare tutti gli aspetti che impattano sul territorio è importantissimo per garantire condizioni di comfort ai cittadini, in casa, sul posto di lavoro, durante lo svago o semplicemente nel corso degli spostamenti.

Ovviamente le critiche che si possono apportare al lavoro effettuato sono molte e le migliorie che si potrebbero applicare sono ancora di più. Innanzitutto ci sono da sottolineare alcuni limiti riscontrati durante l'elaborazione dell'analisi: la varietà dei dati utilizzati; la differenza tra gli enti coinvolti nella fornitura delle informazioni, dal comune di Torino all'Arpa, dal Geoportale del Piemonte all'ISTAT; il diverso metodo e la differente scala di produzione dei dati, dalle sezioni di censimento alle microsezioni censuarie e infine le circoscrizioni. Per puntualizzare molte circoscrizioni, inoltre, al loro interno comprendono aree dalle caratteristiche completamente differenti, come le



zone urbane centrali e la collina (esempio circoscrizione 7 e 8). Un'altra significativa problematica è l'estensione e i confini dell'analisi, che nel caso in questione ha riguardato strettamente la città di Torino, tralasciando le aree circostanti appartenenti ad altri comuni, ma che avrebbe potuto estendersi influenzando sulle zone a confine della città. Ma ciò non è stato possibile a causa della mancanza di dati, soprattutto per i piccoli comuni che non possiedono le risorse umane e finanziarie per svolgere le stesse analisi statistiche effettuate da Torino. Sarebbe stato molto interessante estendere l'analisi addirittura all'intera Regione Piemonte, includendo soprattutto le città con più di trentamila abitanti, ma per mancanza di dati facilmente reperibili e per i tempi brevi, si è ritenuto di lasciare l'ampliamento della ricerca ad un lavoro gestito da enti quale la Regione Piemonte.

L'analisi del rischio da ondate di calore potrebbe essere, infatti, un punto focale dell'attuale e della futura pianificazione e sia dati realistici, sia un metodo approvato, favorirebbero l'analisi in sé e di conseguenza una più efficace pianificazione. Se, infatti, Torino presenta problematiche proporzionali alla sua dimensione e al numero di abitanti, le città minori presentano gli stessi problemi calati sulle peculiarità proprie del territorio. A colpo d'occhio si potrebbe pensare che essendo nuclei minori non siano affette da isole di calore o da ondate di calore. In realtà il cambiamento climatico nel tempo ha coinvolto anche le realtà minori sparse per la regione, provocando anche in questi casi molti decessi. Bisogna poi pensare che essendo piccoli centri, i servizi a disposizione della popolazione, come strutture socio-assistenziali, ospedali e farmacie, ambienti di lavoro e di svago climatizzati sono presenti in quantità minore. Non solo le strutture in sé sono carenti ma è anche inferiore la diffusione, tra la popolazione, delle informazioni riguardanti il caldo e le tecniche per affrontarlo al meglio. Le città minori spesso sono poi tralasciate dalle strategie e dai piani nazionali contro il caldo. Ad esempio il bollettino previsionale delle ondate di calore è emesso solamente in relazione alle aree urbane dei capoluoghi di provincia della Regione, mentre la sorveglianza della mortalità è effettuata per le città con più di 200.000 abitanti. Bisogna, infine, considerare i costi che devono sostenere in caso di temperature estreme. Per i centri urbani di piccola dimensione ovviamente i costi legati ad una emergenza sono più impattanti sulle risorse finanziarie del comune, rispetto a



grandi aree urbane come Torino. Costi economici, ma anche sociali e sanitari incidono sui conti pubblici.

In ogni caso tuttavia siccome le città devono soddisfare una certa qualità di vita per i suoi abitanti sarebbe utile effettuare l'analisi del rischio per nuovi interventi sul territorio oltre per la riqualificazione e il miglioramento degli spazi urbani. Oltre alle statistiche e ai dati numerici prodotti, sono state realizzate, infatti, molte mappature in grado di mostrare ogni componente espressa e il rischio, in un'efficace rappresentazione grafica, comprensibile anche agli occhi meno esperti. Un'opportuna riproduzione del territorio di Torino e delle situazioni sociali, economiche, sanitarie, produttive e bioclimatiche che lo caratterizzano.

In conclusione l'analisi del rischio riportata in questa tesi è stata affrontata come modello concettuale, calato sul territorio specifico del comune di Torino. Una rappresentazione dei risultati attesi, che sebbene non siano tarati, dimostra un'immagine statistica a lungo periodo. Lo scopo principale è stato, infatti, scovare le zone in cui il rischio colpisce maggiormente la città e la popolazione residente. Concentrare l'analisi su un anno quale il 2015, particolarmente significativo per le temperature elevate e per i numerosi decessi, ha aiutato a definire la ricerca. Il tentativo di modellizzare il fenomeno delle ondate di calore ha condotto l'analisi verso alcuni indicatori, escludendone a priori altri. Ciò non è detto rappresenti la giusta direzione ma il risultato ha dimostrato una buona affidabilità. Si è cercato, infatti, di riprodurre su mappa quello che si percepisce dalla realtà, tenendo conto di tutte le peculiarità che caratterizzano il territorio della città.

La promessa è, infine, quella di creare un modello che possa diventare procedura, mantenendo un contesto urbano attivo nel quale sviluppare nuove strategie e nuovi piani per la resilienza e l'adattamento della città di Torino alle ondate di calore e più in generale al caldo.



7. BIBLIOGRAFIA

Adelfio S., Enea C., Bazan G. e Orlando P. (2016), "Telerilevamento e GIS per la valutazione e il monitoraggio delle isole di calore in ambiente urbano", *GEOmedia*, n. 6

Alhawiti R. H., Mitsova D. (2016), "Using LANDSAT-8 data to explore the correlation between urban heat island and urban land uses", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, n. 5(3), pag. 457-466

Allison R.J. (a cura di) (2002), *Applied geomorphology: theory and practice*, Wiley, West Sussex

American Meteorological Society (traduzione a cura di) (1956), *Translation of The Climate of Cities*, Kratzer A., Massachusetts

Arpa (2008), *Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2008*, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino

Arpa (2015), *Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015*, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino

Arpa (2016), *Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2016*, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino

Aziende Sanitarie Regionali (2007), "Le degenze ospedaliere in Italia", *Libero*

Bartolomeis L. (1840), *Notizie topografiche e statistiche sugli Stati Sardi*, Stamperia Chirio e Mina, Torino, 1847

Basu, R. e Samet J.M. (2002), "Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence", *Epidemiologic Reviews*, n. 24, pag. 190-202



Becker, F. and Li, Z.-L. (1995), "Surface temperature and emissivity at different scales: definition, measurement and related problems", *Remote Sensing Reviews*, vol. 12, pag. 225-253

Birkmann J. (2006), *Measuring vulnerability to natural hazard: towards disaster resilient societies*, United Nations University Press, New York

Bolasco S. (1999), *Analisi multidimensionale dei dati. Metodi, strategie e criteri d'interpretazione*, Carocci, Roma,

Borfecchia F., De Cecco L., Pollino M., Martini S., La Porta L., Zinzi M. e Carnielo E. (2011), "Telerilevamento HR multispettrale/LIDAR e modellistica SVAT 3D per la stima del bilancio energetico in ambiente urbano", *Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA*, pag. 449-460

Borrell C., Marí-Dell'Olmo M., Rodríguez-Sanz M., Garcia-Olalla P., Caylà J.A., Benach J. e Muntaner C. (2006), "Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona", *Eur. J. Epidemiol*, n. 21(9), pag. 633-640

Bouchama A., Dehbi M., Mohamed G., Matthies F., Shoukri M. e Menne B. (2007), "Prognostic factors in heat wave-related deaths – a meta-analysis", *Archives of Internal Medicine*, n. 167(20), pag. 2170-2176

Brebbia C.A. (a cura di) (1998), *Ninth international Conference on Risk Analysis and Hazard Mitigation. Risk Analysis IX*, Witpress, Boston, 2014

Campos Ng. K. I. e Penha-Lopes G. (a cura di) (2016), *BASE adaptation inspiration book: 23 European cases of climate change adaptation to inspire European decision-makers, practitioners and citizens*, University of Lisbon, Faculty of Sciences, Lisbona

Cardona O.D., van Aalst M.K., Birkmann J., Fordham M., McGregor G.R., Perez R., Pulwarty R.S., Schipper E.L.F. e Sinh B.T. (2012), "Determinants of risk: exposure and vulnerability", *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.-K., Allen S.K., Tignor M. e Midgley P.M., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, 65–108



Castellari S., Venturini S., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Gatto M., Gaudioso D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M. e Zavatarelli M. (a cura di.) (2014), *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma

Castellari S., Venturini S., Giordano F., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Fusani S., Gatto M., Gaudioso D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Pasella D., Pierantonelli L., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M. e Zavatarelli M. (2014), *Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma

Castellari, S., Venturini, S., Pozzo, B., Tellarini, G. e Giordano, F. (2014), *Analisi della normativa comunitaria e nazionale rilevante per gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma

Città di Torino (2011), *Bilancio Arboreo della città di Torino 2011-2016*, Servizio Verde Gestione, Torino

Città di Torino (2016), *Il verde cresce a Torino*, Città di Torino, Torino

Commissione Europea (2013), *Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici*, comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni, Bruxelles

Commissione Tecnica per la Finanza Pubblica (2004), *Libro verde sulla spesa pubblica*, Ministero dell'Economia e delle Finanze, Roma

Costa G., Migliardi A., Alesina M., Bianco S., Carnà P., Farina E., Gnani R., Stroschia M., Zengarini N., Servizio di Epidemiologia di riferimento regionale, ASL TO3 Piemonte



e Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche, Università Torino (2015), *L'eccesso di mortalità nel 2015: fatti e spiegazioni dei dati piemontesi*, Università di Torino, Torino

Dash P., Gottsche F., Olesen F., Fischer H. (2001), "Retrieval of Land Surface Temperature and Emissivity from Satellite Data: Physics. Theoretical Limitations and Current Methods", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 29, n. 1 e 2

Davidson R. (1997), *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Report n. 121, Stanford

De'Donato F. (2017), "Ondate di calore e monitoraggio delle variazioni temporali degli effetti sulla salute dal 2003-2016", *Workshop Piano Nazionale Caldo Estate 2017. Cambiamenti climatici, eventi estremi e misure di adattamento e mitigazione*, Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, Consiglio Nazionale Ricerche, Regione Siciliana Assessorato alla Salute Dipartimento per le Attività Sanitarie ed Osservatorio Epidemiologico, Palermo

Downing T.E., Olsthoorn A.A. e Tol R.S.J. (a cura di) (1999), *Climate, Change and Risk*, Routledge, Londra

EEA (2012), *Climate Change and Vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*, EEA, Copenhagen

EEA (2016), *Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate*, EEA, Lussemburgo

Environmental Protection Agency (2008), *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*, Draft, U.S.

European Commission Research & innovation dg (2011), *MOVE. Assessing vulnerability to natural hazards in Europe: From Principles to Practice. A manual on concept, methodology and tools*, European Commission Research & innovation dg, Germania



European Commission Research & innovation dg (2011), *MOVE. D.4.2 Handbook of Vulnerability Assessment in Europe*, European Commission Research & innovation dg, Germania

GeoAdaptive (2017), *Planning Tools for Climate Change Mitigation & Adaptation. Summary For Policymakers*, GeoAdaptive, Boston

Guyton A.C. e. Hall J.E (2000), *Textbook of Medical Physiology* (10th ed.), W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA

Hoverter S.P. (2012), *Adapting to Urban Heat: A Toll Kit for Local Governments*, Georgetown Climate Center, New York

IPCC Working Group III, WMO, UNEP (2000), *Special Report on Emissions Scenarios. Summary for Policy Makers*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York

IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York

IPCC (2014), *Climate Change 2014. Synthesis Report. Longer Report*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York

IPCC (2014), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York

ISDR (2009), *Terminology on Disaster Risk Reduction*, UNISDR, Ginevra

Ispra (2009), *Adattamento ai cambiamenti climatici: strategie e piani in Europa*, Settore editoria Ispra, Roma

Ispra (2014), *Focus sulle città e la sfida dei cambiamenti climatici. Qualità dell'ambiente urbano. X° Rapporto*, Settore editoria Ispra, Roma



Ispra (2015), *Il Clima Futuro in Italia: analisi delle proiezioni e dei modelli regionali*, Settore editoria Ispra, Roma

Ispra (2016), *Gli indicatori del clima in Italia nel 2015*, Settore editoria Ispra, Roma

Ispra (2016), *Qualità dell'ambiente urbano. XII° Rapporto*, Settore editoria Ispra, Roma

Ivaldi C., Cadum E., Coffano E., Demaria M., Fubini L., Marocco C., Visentin P. e Valenzano C. (2007), *Le misure preventive in caso di temperature elevate. Protocollo operativo e Raccomandazioni per il personale sanitario*, Regione Piemonte, Torino

Kinney P.L., O'Neill M.S., Bell M.L. e Schwartz J. (2008), "Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities", *Environ, Sci. Pol.*, n° 11, pag. 87-96

Kovats, R.S. e Hajat S. (2008), "Heat stress and public health: A critical review", *Ann. Rev. Pub. Health*, n. 29, pag. 41-50

La Rocca L. (2005), "Analisi in Componenti Principali", *Dispense*, Dipartimento di Matematica, Università degli studi di Pavia, Pavia

Manley G. (1958), "On the frequency of snowfall in metropolitan England", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 84, n. 359, pag. 70-72

Marchesi S., Zauli Sajani S. e Lauriola P. (2013), "Isole di calore e misure di mitigazione", *Ecoscienza*, Arpa Emilia-Romagna, n. 5, pag. 72-73

Marini F. (2013), "Dispense 04: Analisi delle Componenti Principali (PCA)", *Corso di Chemiometria*, Dipartimento di Matematica, Università degli studi La Sapienza, Roma

Marro E. (2016), "In Italia nel 2015 sono morte 54mila persone in più (+9%). Ecco le possibili cause", *Il Sole 24 Ore*, Italia

Martinelli E. e Di Natale E. (2003), "Lezione 5: Analisi delle Componenti Principali", *Corso di Introduzione al trattamento Statistico*, Università degli studi TorVergata, Roma



Masterton J. M. and Richardson. F. A. (1979), "Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity", *CLI 1-79*, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, pag. 45

Michelozzi P. (2017), "Eventi estremi e salute: l'impatto nelle città italiane e misure di adattamento", *Workshop Piano Nazionale Caldo Estate 2017. Cambiamenti climatici, eventi estremi e misure di adattamento e mitigazione*, Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, Consiglio Nazionale Ricerche, Regione Siciliana Assessorato alla Salute Dipartimento per le Attività Sanitarie ed Osservatorio Epidemiologico, Palermo

Michelozzi P., de'Donato F., Bisanti L., Russo A., Cadum E., DeMaria M., D'Ovidio M., Costa G. e Perucci C.A. (2005), "Heat waves in Italy: Cause specific mortality and the role of educational level and socio-economic conditions", *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, Kirch W., Menne B. e Bertolinni R., Springer, New York, pag. 121-127

Mutani G. e Vicentini G. (2013), "Analisi del fabbisogno di energia termica degli edifici con software geografico libero. Il caso studio di Torino", *La Termotecnica*, pag. 63-67

Norman J. M. e Becker F. (1995), "Terminology in thermal infrared remote sensing of natural surfaces", *Remote Sensing Reviews*, n. 12, pag. 159-173

Oke T. R. (1982), "The Energetic Basis of the Urban Heat Island", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, pag. 1-24

Prata A. J., Caselles V., Coil C., Sobrino A. and Ottlg C. (1995), "Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects", *Remote Sensing Reviews*, vol. 12, pag. 175-224

Quattrochi D. A., Luvall J. C. (2004), *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*, CRC Press, New York

Rey G., Fouillet A., Bessemoulin P., Frayssinet P., Dufour A., Jouglu E. e Hémon D. (2009), "Heat exposure and socioeconomic vulnerability as synergistic factors in heat wave-related mortality", *Eur. J. Epidemiol.*, n. 24(9), pag. 495-502



Servizio statistica e toponomastica (2015), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2015. Capitolo 2: Toponomastica*, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino

Servizio statistica e toponomastica (2015), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2015. Capitolo 3: Demografia*, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino

Servizio statistica e toponomastica (2015), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2015. Capitolo 7: Servizi Sociali*, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino

Servizio statistica e toponomastica (2016), *Annuario Statistico della Città di Torino: 2016. Capitolo 3: Demografia*, Ufficio pubblicazioni e analisi statistiche, Torino

Scarano M. (2015), "Analisi delle relazioni fra la land surface temperature e i parametri sky view factor, normalized difference vegetation index e vegetation fraction mediante immagini satellitari landsat 8 nella città di bari", *Bollettino SIFET*, Sezione SCIENZA

Scortichini M. (2017), "I decessi attribuibili agli effetti del caldo nelle città italiane", *Workshop Piano nazionale di prevenzione degli effetti del caldo sulla salute, Interviste ai Relatori*, Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale Regione Lazio, Roma

Steadman R. G. (1979), "The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science", *Journal of Applied Meteorology*, n. 18, pag. 861-873

Steadman R. G. (1979), "The assessment of sultriness. Part II: Effect of wind, extra radiation. and barometric pressure on apparent temperature", *Journal of Applied Meteorology*, n. 18, pag. 874-884

Steadman R. G. (1984), "A universal scale of apparent temperature", *Journal of Applied Meteorology*, n. 23, pag. 1674-1687

Syngellakis S. (a cura di) (2016), *Management of Natural Disaster*, Witpress, Boston

Thom E. C. (1959), "The discomfort index", *Weatherwise*, n. 12, pag. 57-60

Tomlinson C. J., Chapman L., Thornes J. E. e Baker C. (2011), "Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review", *Royal Meteorological Society*, n. 18, pag. 296-306



Toreti A. e Desiato F. (2008), "Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years", *International J. Climatology*, n. 28, pag. 733-745

Tromba C. (2016), "Morti, boom dei decessi in Italia nel 2015. I motivi? Caldo, Grande guerra e influenza", *Il Fatto Quotidiano*

Unità Tecnica Efficienza Energetica dell'ENEA (a cura di) (2015), *Rapporto Annuale Efficienza Energetica RAEE 2015*, Unità Tecnica Efficienza Energetica, Roma

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014), *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*, United Nations

Vandentorren S., Bretin P., Zeghnoun A., Mandereau-Bruno L., Croisier A., Cochet C., Riberon J., Siberan I., Declercq B. e Ledrans M. (2006), "August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home", *European Journal of Public Health*, n. 16(6), pag. 583-591

Watts J. D. e Kalkstein L. S. (2003), "The development of a warm-weather relative stress index for environmental applications", *Journal of Applied Meteorology*, n. 43, pag. 503-513, 2004

WHO (2004), *Heat-waves: risks and responses*, World Health Organization Regional Office, Copenhagen

WMO (2014), *Atlas of mortality and economic losses from weather climate and weather extremes (1970 - 2012)*, WMO, Ginevra

WMO, WHO (2015), *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*, G.R. Mc Gregor, Ginevra

WWF (elaborazione a cura di), CMCC (testi realizzati da) (2016), *Earth Hour 2016. Scenari per l'Italia. Il paradosso climatico degli estremi opposti nel futuro dell'Italia*, WWF Italia, Roma

Ying Yang Chan E. (2017), *Public Health Humanitarian Responses to Natural Disasters*, Routledge, Londra



8. SITOGRAFIA

Adattamento <http://geoadaptive.com/portfolio2/strategy-for-the-adaptation-plan-torino/>
(ultima consultazione 03.10.2017)

Adattamento <https://www.eea.europa.eu/it/themes/adattamento-al-cambiamento-climatico/intro> (ultima consultazione 22.01.2018)

Andamento demografico Piemonte <http://www.tuttitalia.it/piemonte/72-torino/statistiche/popolazione-andamento-demografico/> (ultima consultazione 20.09.2017)

Cambiamento climatico <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php> (ultima consultazione (24.07.2017)

Censimento <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?lang=it> (ultima consultazione 04.12.2017)

Censimento <https://www.istat.it/it/archivio/104317> (ultima consultazione 04.12.2017)

Clima <http://www.ecoage.it/clima-continentale.htm> (ultima consultazione 28.07.2017)

Clima <http://www.ecoage.it/clima-mediterraneo.htm> (ultima consultazione 28.07.2017)

Eventi catastrofici <http://sociale.corriere.it/desertificazione-e-siccita-le-nuove-catastrofi-naturali-a-rischio-11-miliardi-di-persone/> (ultima consultazione 31.07.2017)

Geoportale del Piemonte <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/> (ultima consultazione (30.11.2017)

Geoportale di Torino <http://www.comune.torino.it/geoportale/index.htm> (ultima consultazione (13.12.2017)

GRID <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2> (ultima consultazione 29.01.2018)

Il verde urbano
<http://www.comune.torino.it/verdepubblico/patrimonioverde/verdeto/funzioni.shtml>
(ultima consultazione 11.09.2017)



Indici estremi <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php#8> (ultima consultazione 27.07.2017)

Infrastrutture verdi <http://www.aboutplants.eu/portal/cms/content-paesaggio/1538-il-ruolo-delle-infrastrutture-verdi-nel-cambiamento-climatico.html> (ultima consultazione 29.07.2017)

Isole di calore <http://www.urbanheatlands.com/> (ultima consultazione 14.09.2017)

Land Surface Temperature <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/overview/geophysical-measurements/land-surface-temperature> (ultima consultazione 25.09.2017)

Land Surface Temperature <http://land.copernicus.eu/global/products/lst> (ultima consultazione 25.09.2017)

Modis

https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD11C1_M_LSTDA
(ultima consultazione 26.09.2017)

Modis <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod21.php> (ultima consultazione 26.09.2017)

Modis <https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis> (ultima consultazione 27.09.2017)

Modis <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php> (ultima consultazione 27.09.2017)

Modis <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php> (ultima consultazione 27.09.2017)

Modis <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php> (ultima consultazione 27.09.2017)

Ondate di calore <http://protezionecivile.regione.emilia-romagna.it/notizie/notizie-2017/ondate-di-calore-cosa-sono-e-come-comportarsi> (ultima consultazione 09.06.2017)



Ondate di calore <http://lamma.toscana.it/news/ondate-di-calore-quali-definizione>
(ultima consultazione 09.06.2017)

Ondate di calore http://www.gira-sole.net/calore_info.htm (ultima consultazione 19.07.2017)

Ondate di calore http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_dossier.wp?contentId=DOS19902
(ultima consultazione 21.07.2017)

Ondate di calore http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/ondata_calore.wp (ultima consultazione 30.08.2017)

Ondate di calore <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves> (ultima consultazione 04.09.2017)

Ondate di calore <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/changes-in-duration-of-warm-spells-in-summer-across-europe-in-the-period-1976-2006-in-days-per-decade-9> (ultima consultazione 04.09.2017)

Ondate di calore <http://www.nature.com/ngeo/journal/v7/n5/full/ngeo2141.html?foxtrotcallback=true>
(ultima consultazione 12.09.2017)

Ondate di calore <http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n6/full/ngeo866.html> (ultima consultazione 12.09.2017)

Ondate di calore <http://www.salute.gov.it/portale/caldo/homeCaldo.jsp> (ultima consultazione 20.01.2018)

Ondate di calore in futuro <http://www.meteogiornale.it/notizia/47876-1-allarme-artico-ondate-caldo-piu-frequente-in-futuro> (ultima consultazione 29.07.2017)

Ondate di calore in futuro http://www.repubblica.it/ambiente/2017/06/21/news/ondate_di_calore_entro_il_2100_riguarderanno_il_74_per_cento_della_popolazione_mondiale-168703818/ (ultima consultazione 29.07.2017)

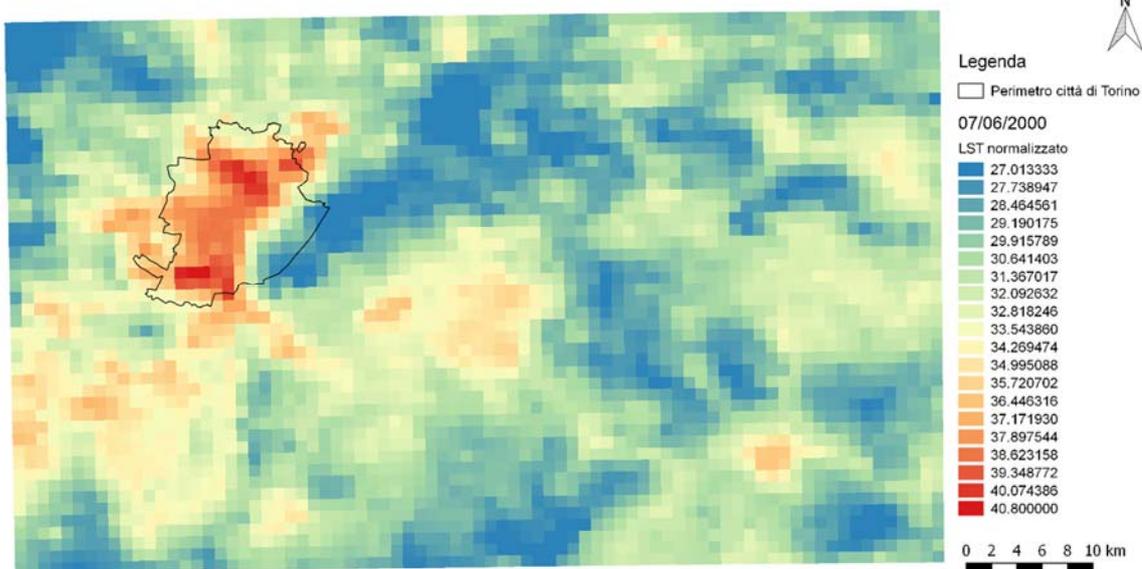
ALLEGATI



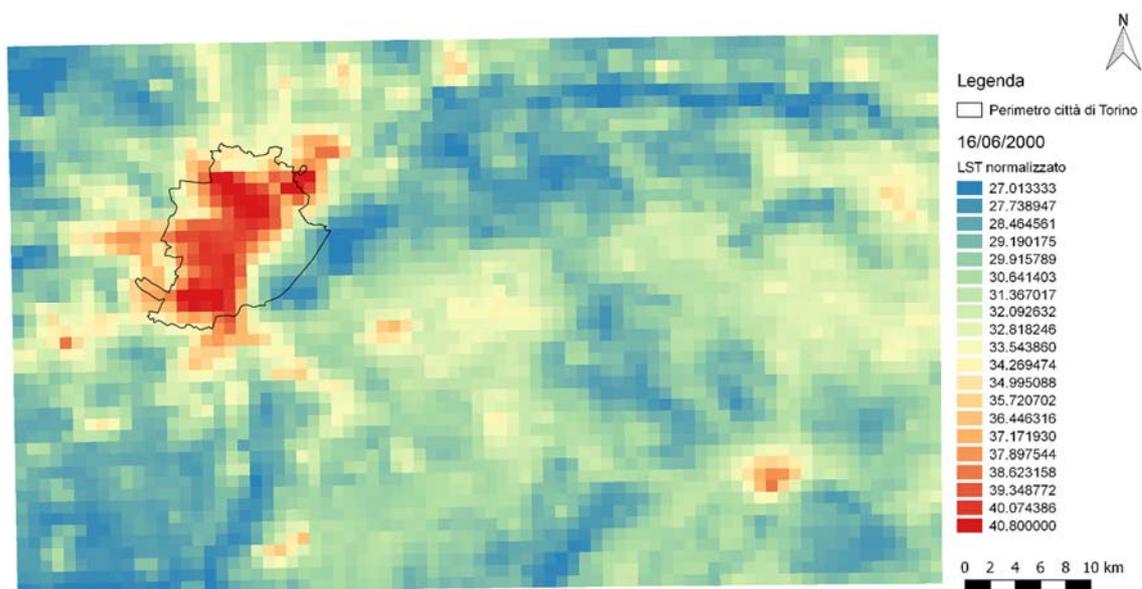
9. ALLEGATI

ALLEGATO A – VALORI TERMICI DI GIUGNO, LUGLIO E AGOSTO DEL 2000 E DEL 2015

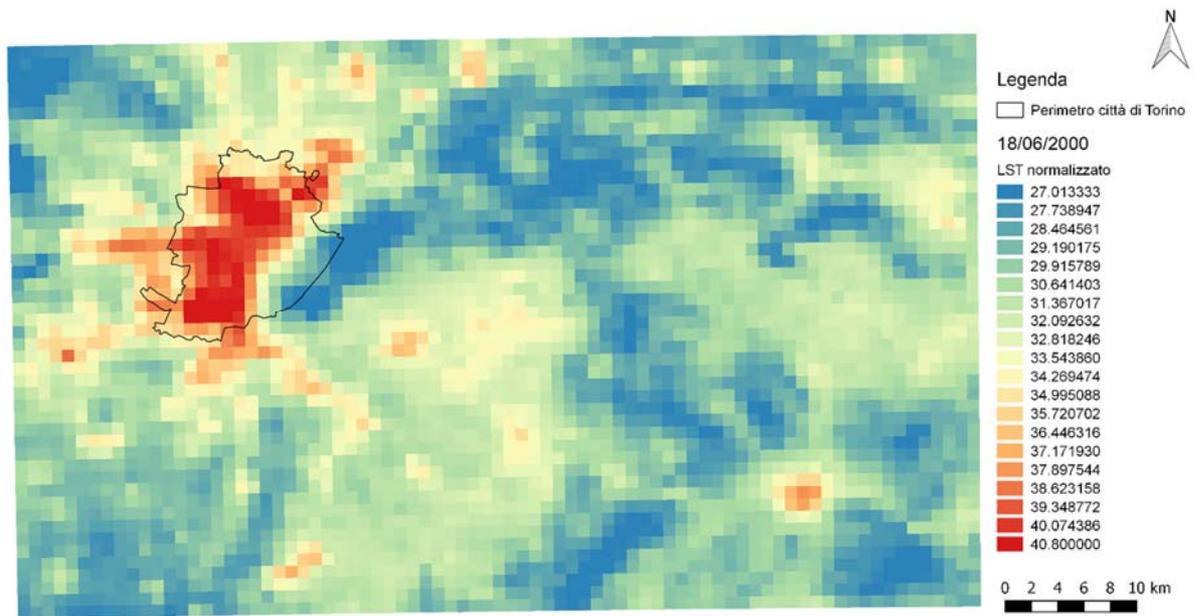
Giugno (06) 2000



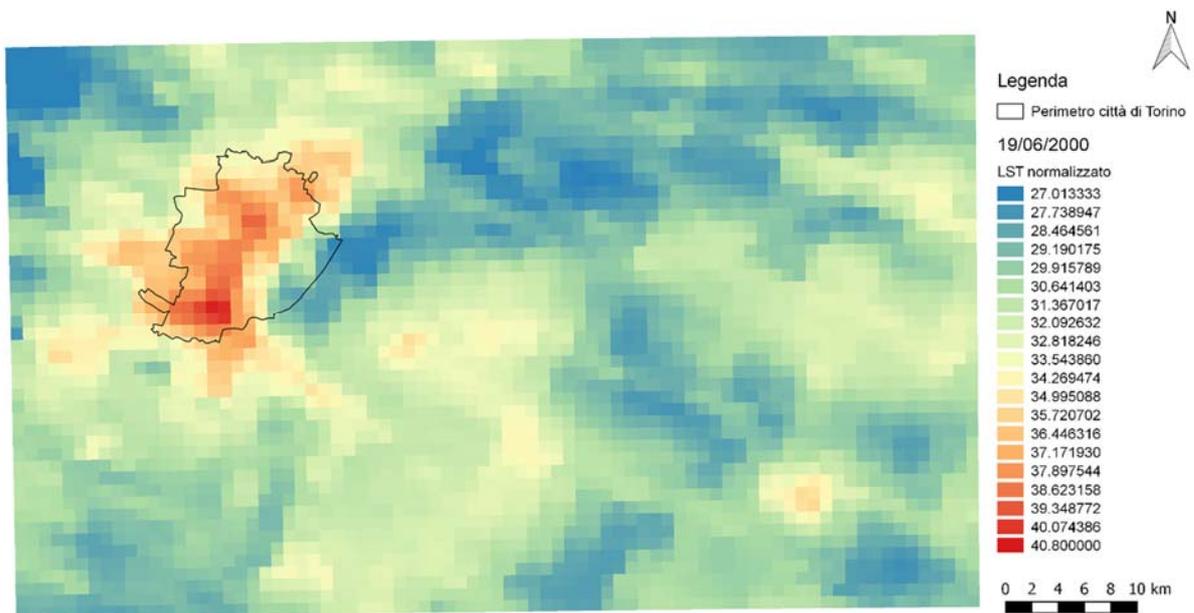
Allegato 1: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



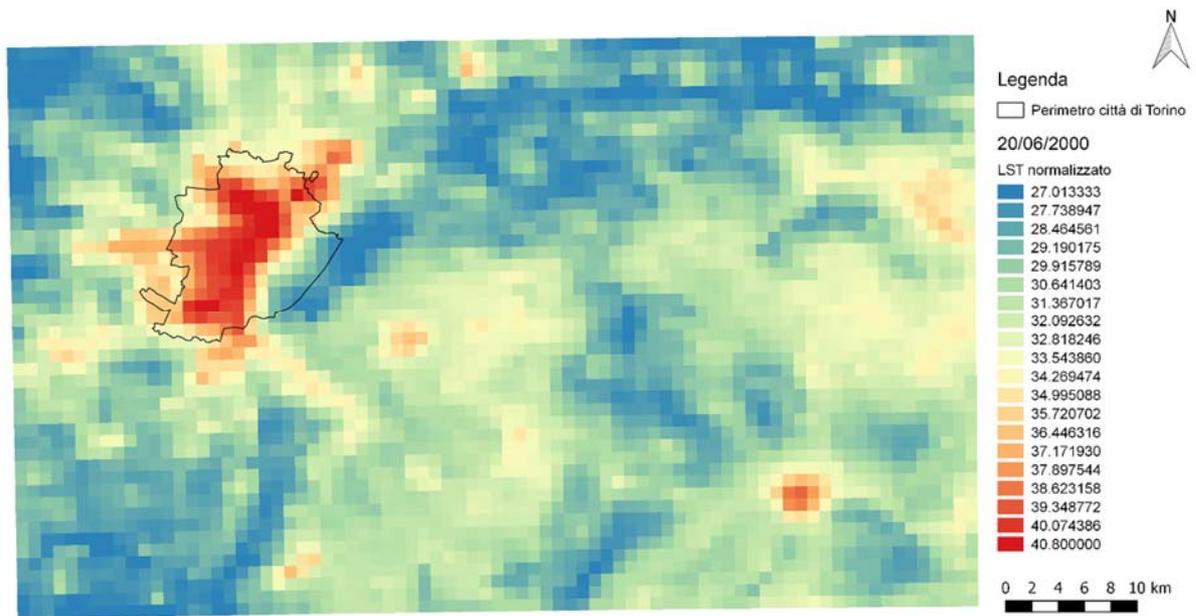
Allegato 2: Rappresentazione grafica dei valori termici del 16/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



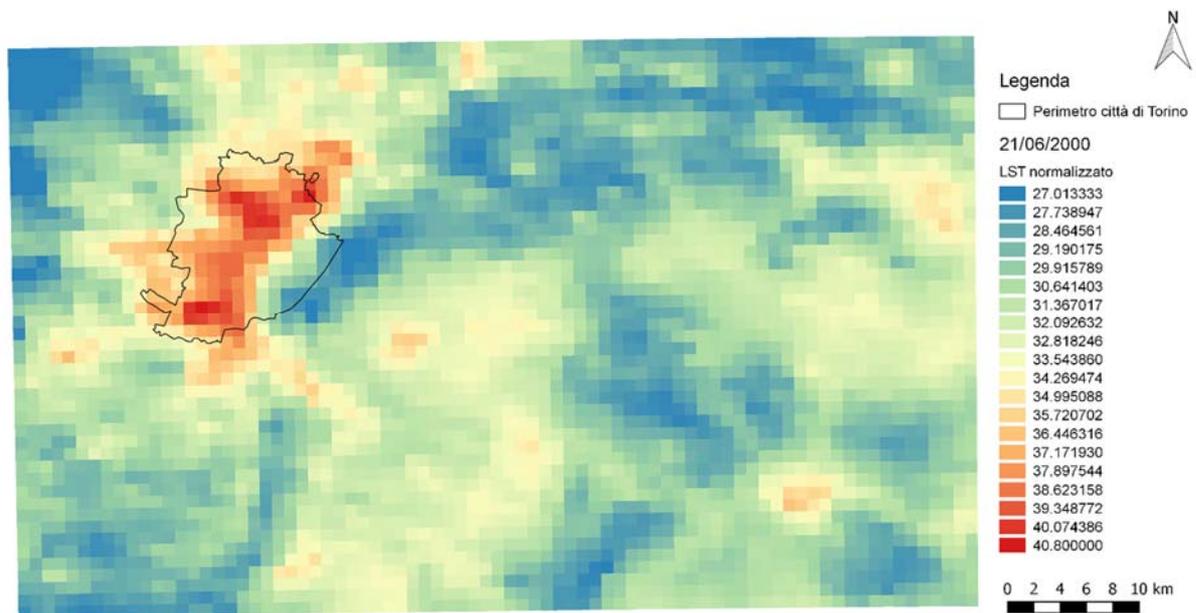
Allegato 3: Rappresentazione grafica dei valori termici del 18/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 4: Rappresentazione grafica dei valori termici del 19/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



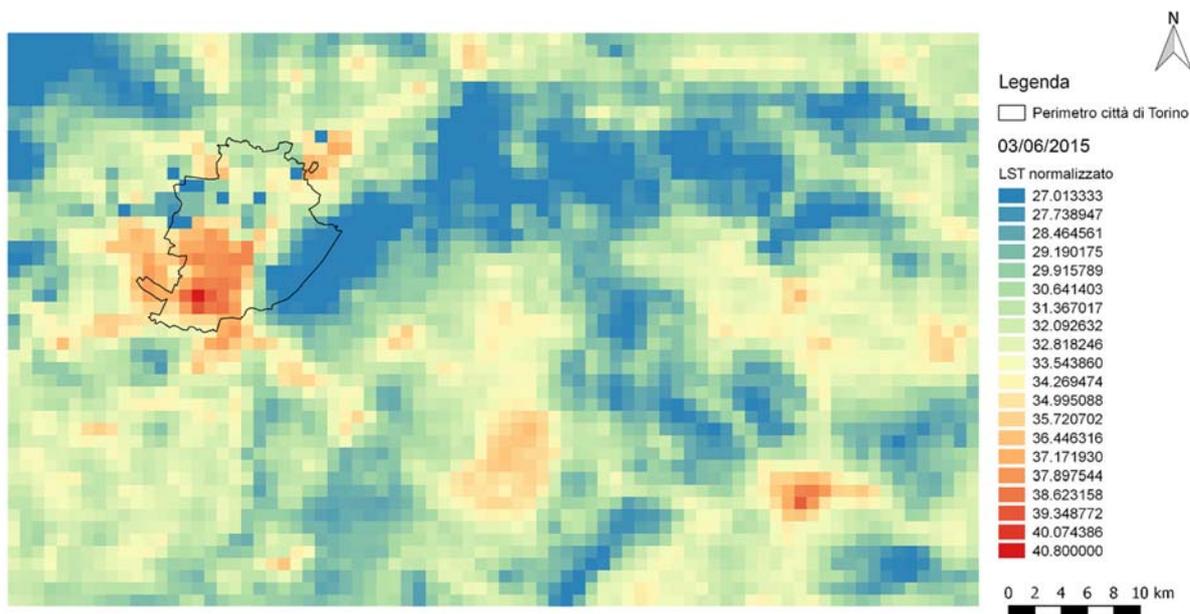
Allegato 5: Rappresentazione grafica dei valori termici del 20/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



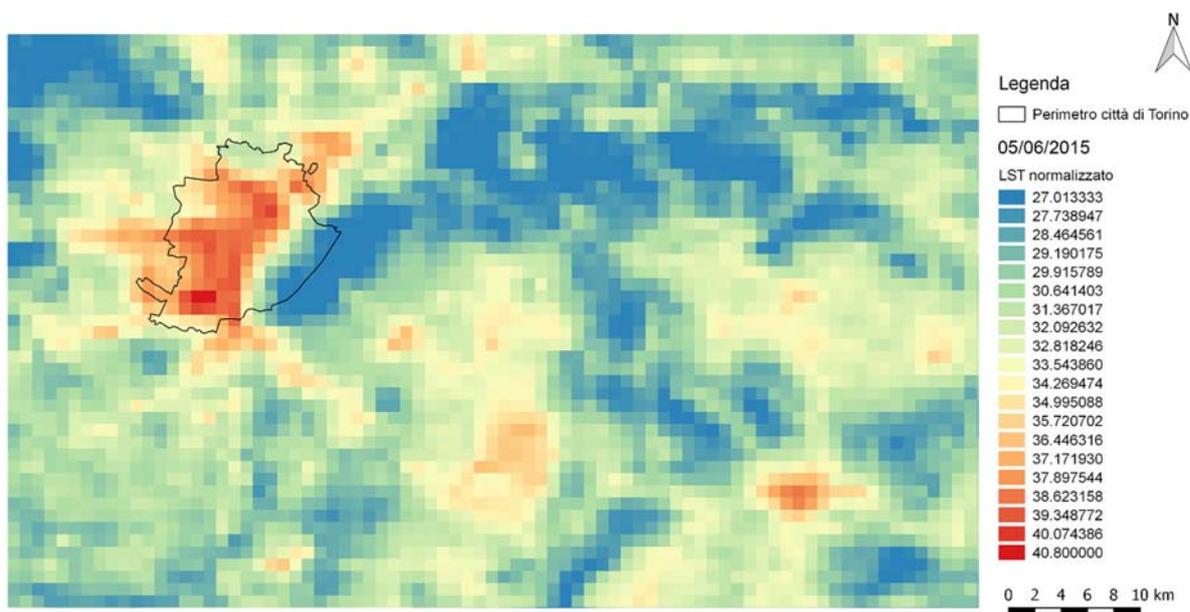
Allegato 6: Rappresentazione grafica dei valori termici del 21/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



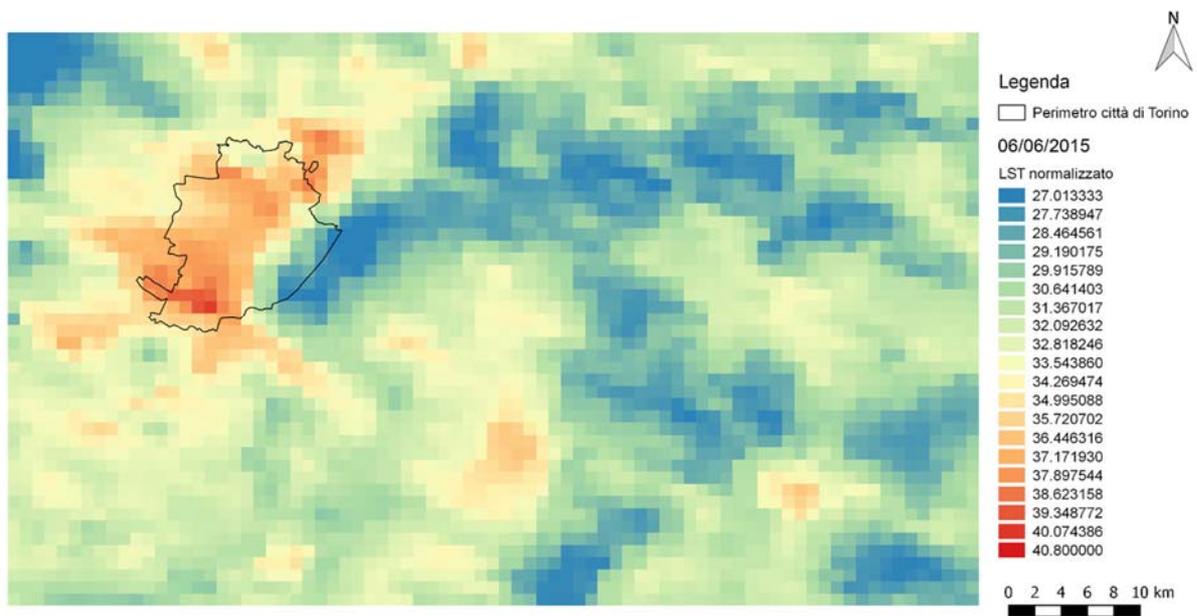
Giugno (06) 2015



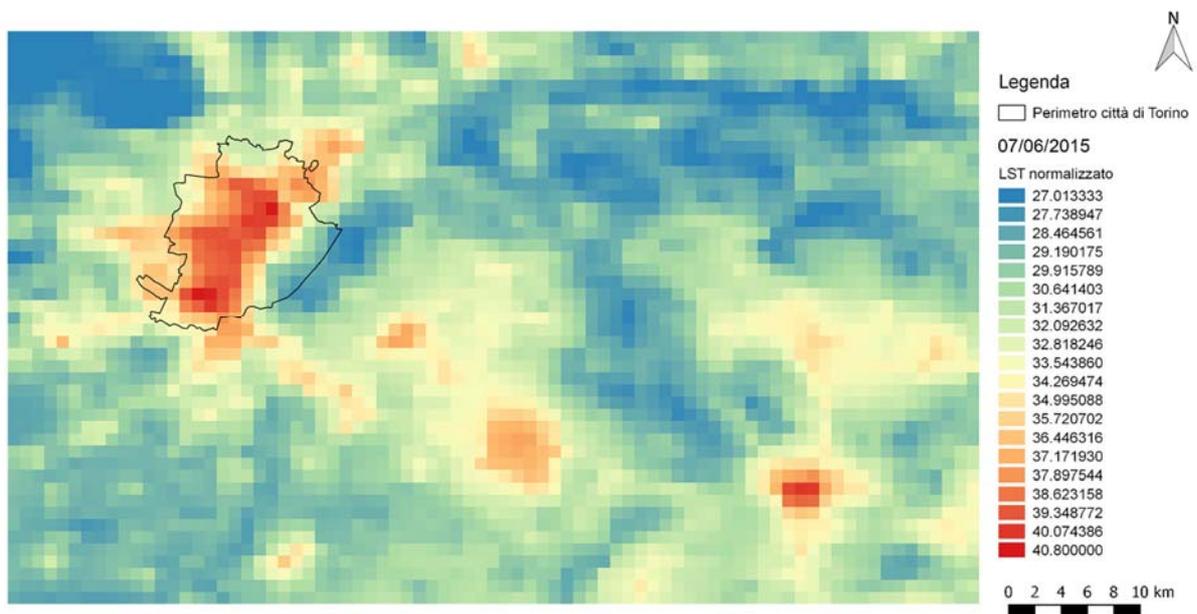
Allegato 7: Rappresentazione grafica dei valori termici del 03/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



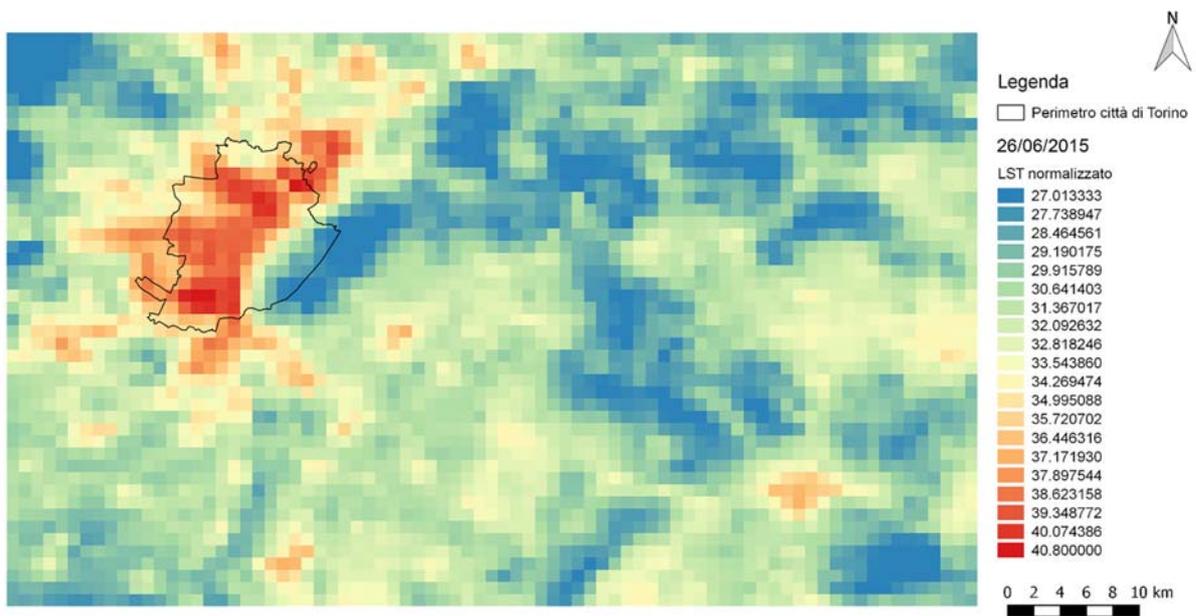
Allegato 8: Rappresentazione grafica dei valori termici del 05/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



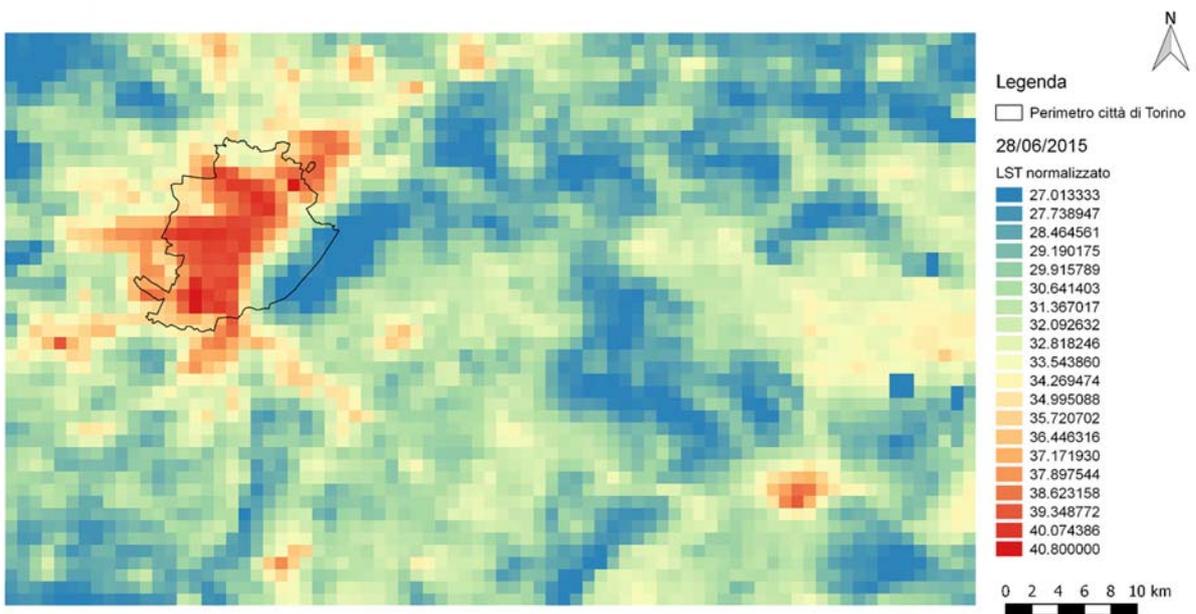
Allegato 9: Rappresentazione grafica dei valori termici del 06/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 10: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



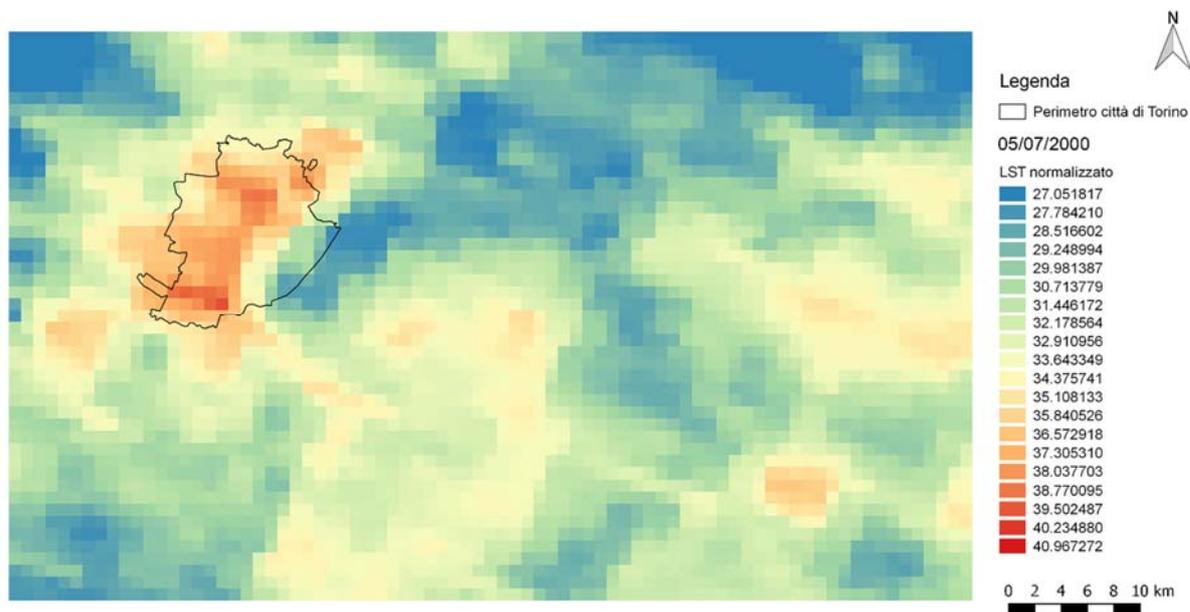
Allegato 11: Rappresentazione grafica dei valori termici del 26/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



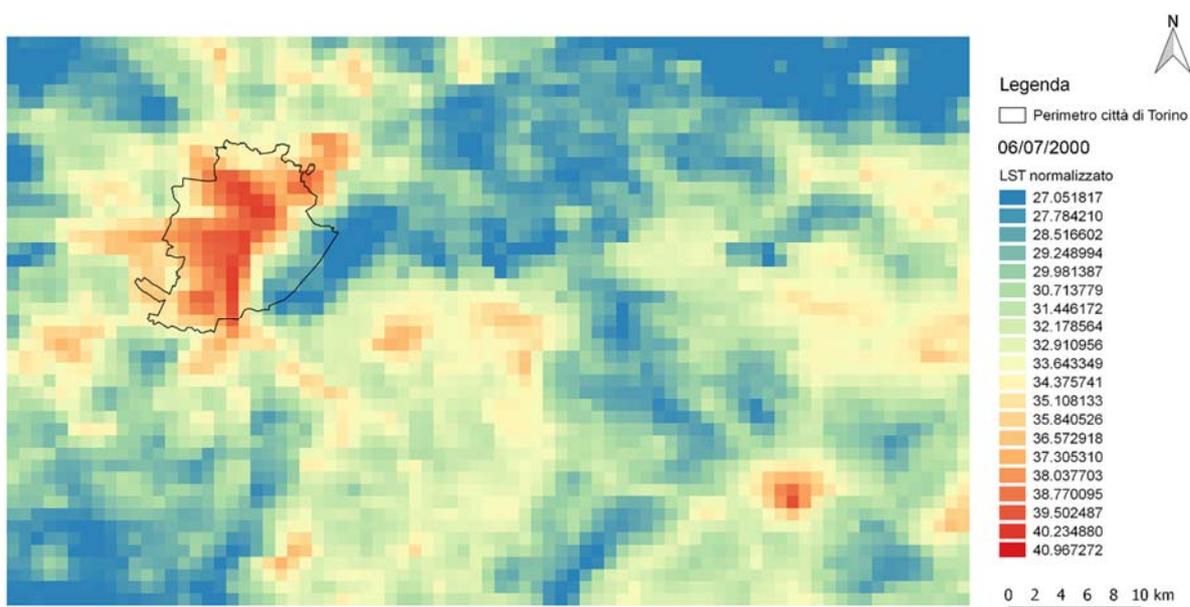
Allegato 12: Rappresentazione grafica dei valori termici del 28/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



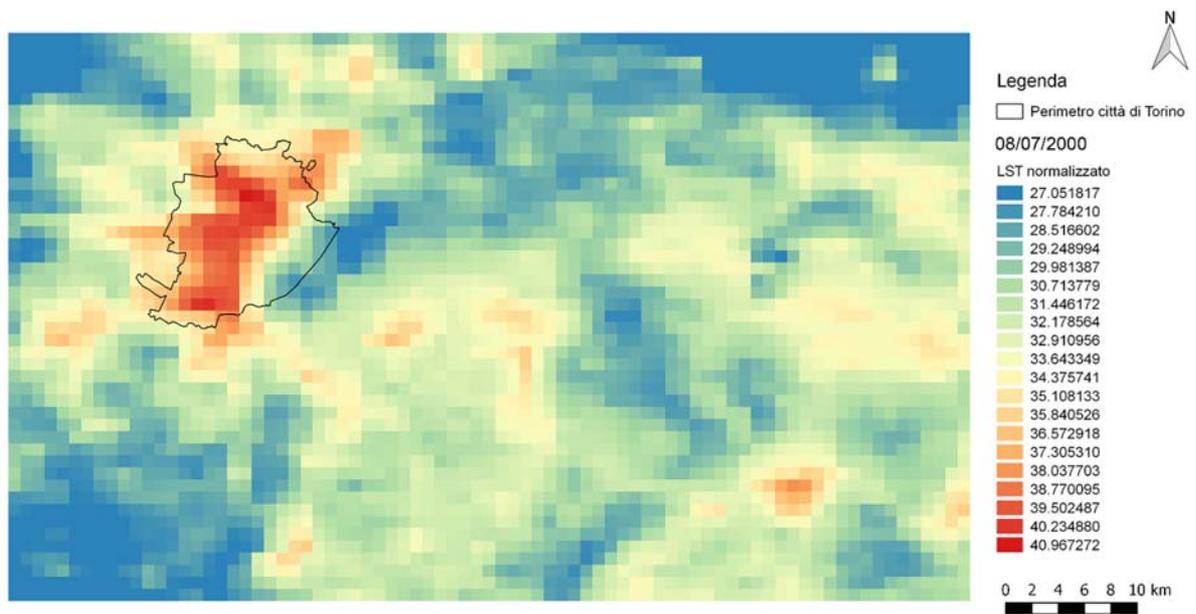
Luglio (07) 2000



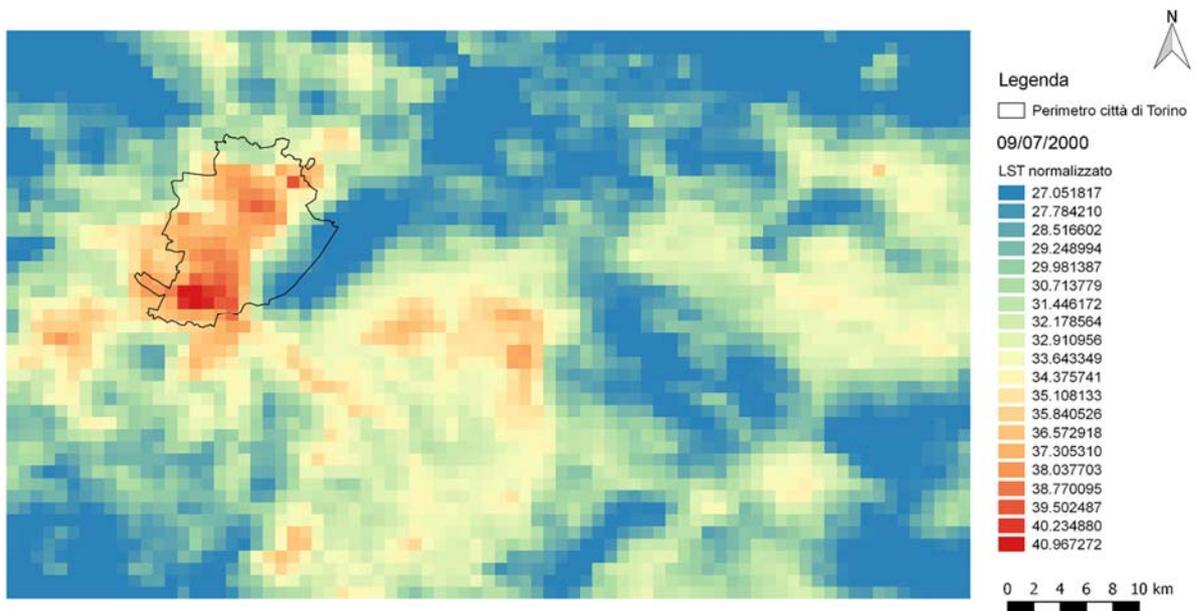
Allegato 13: Rappresentazione grafica dei valori termici del 05/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



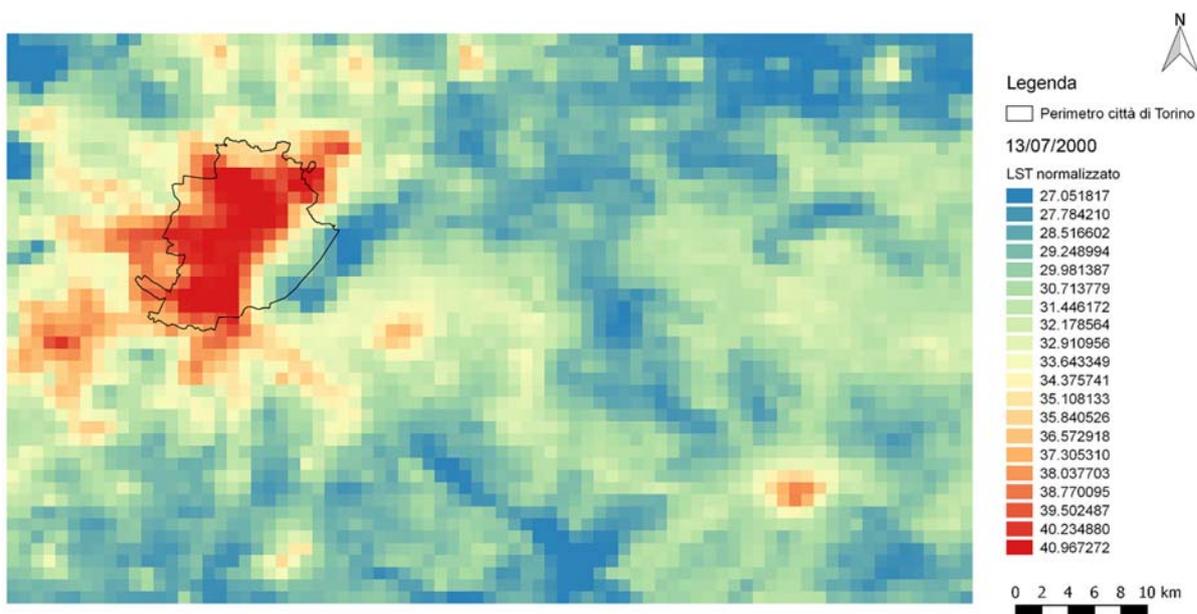
Allegato 14: Rappresentazione grafica dei valori termici del 06/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



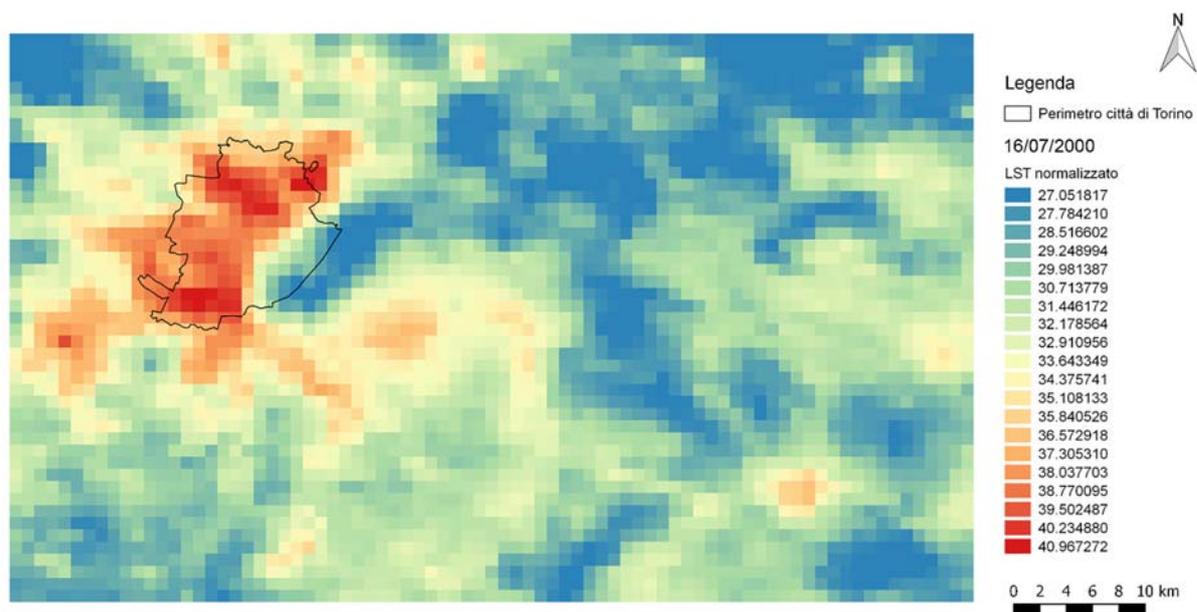
Allegato 15: Rappresentazione grafica dei valori termici del 08/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



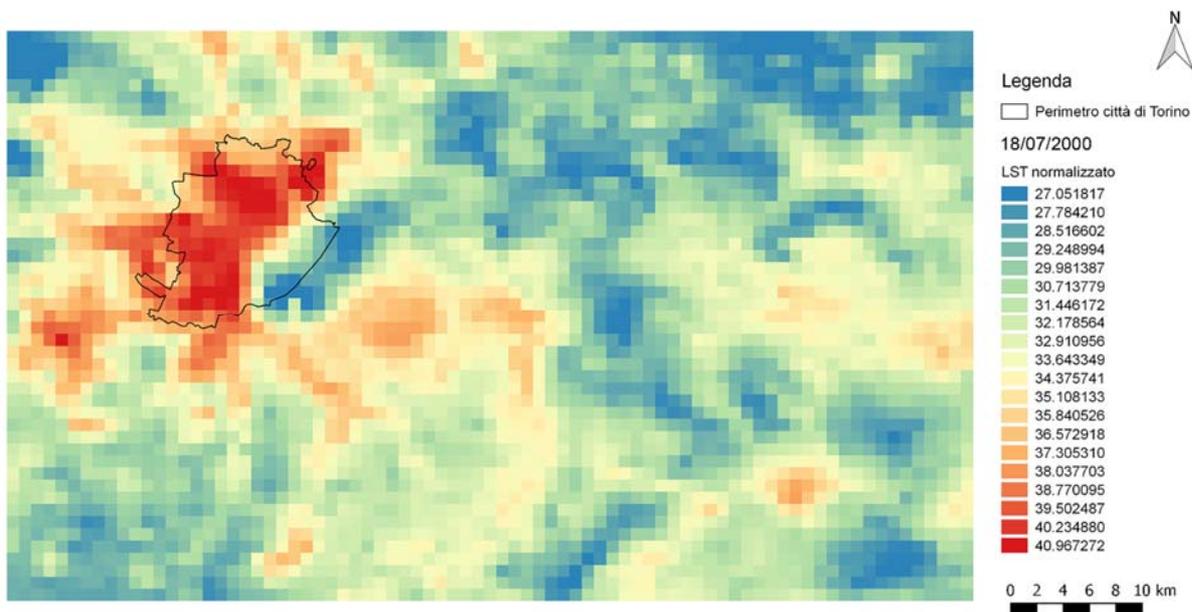
Allegato 16: Rappresentazione grafica dei valori termici del 09/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



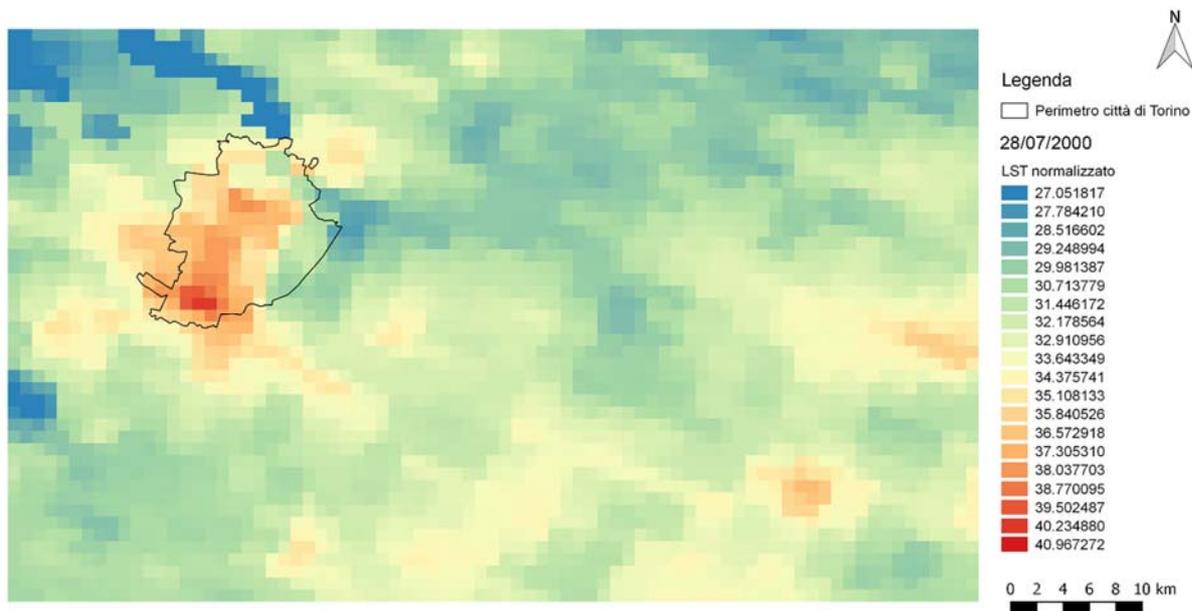
Allegato 17: Rappresentazione grafica dei valori termici del 13/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



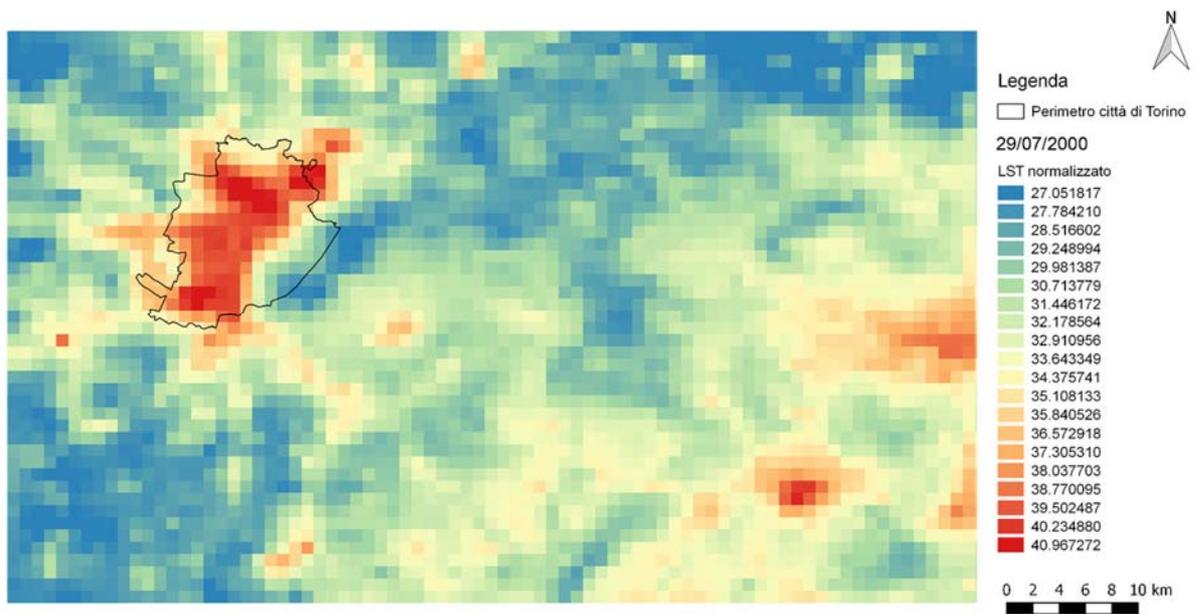
Allegato 18: Rappresentazione grafica dei valori termici del 16/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



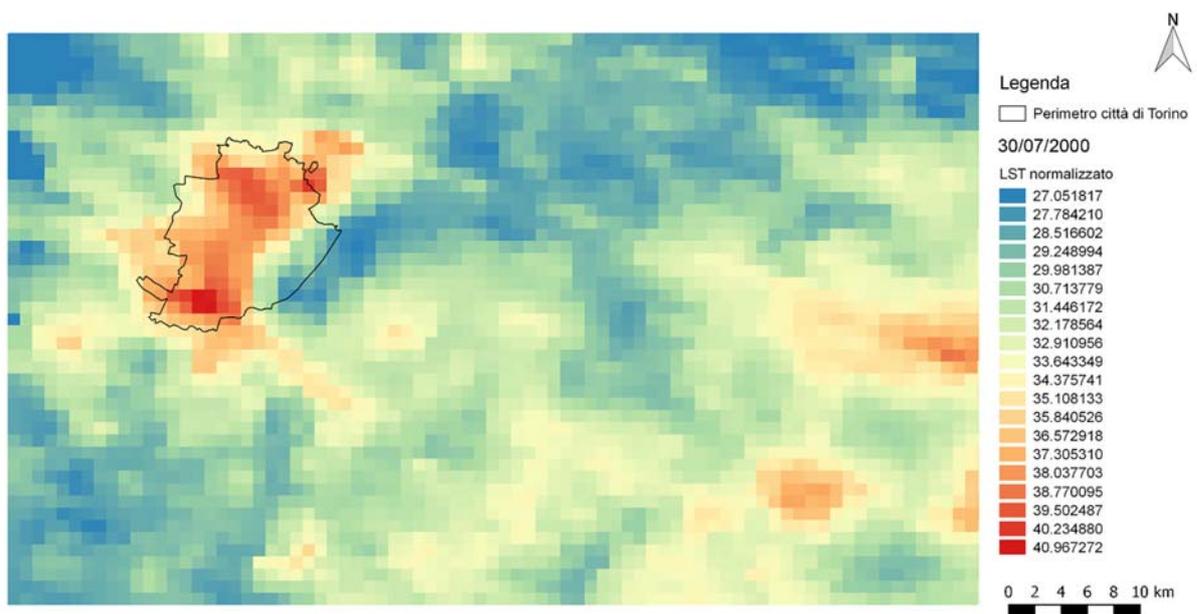
Allegato 19: Rappresentazione grafica dei valori termici del 18/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



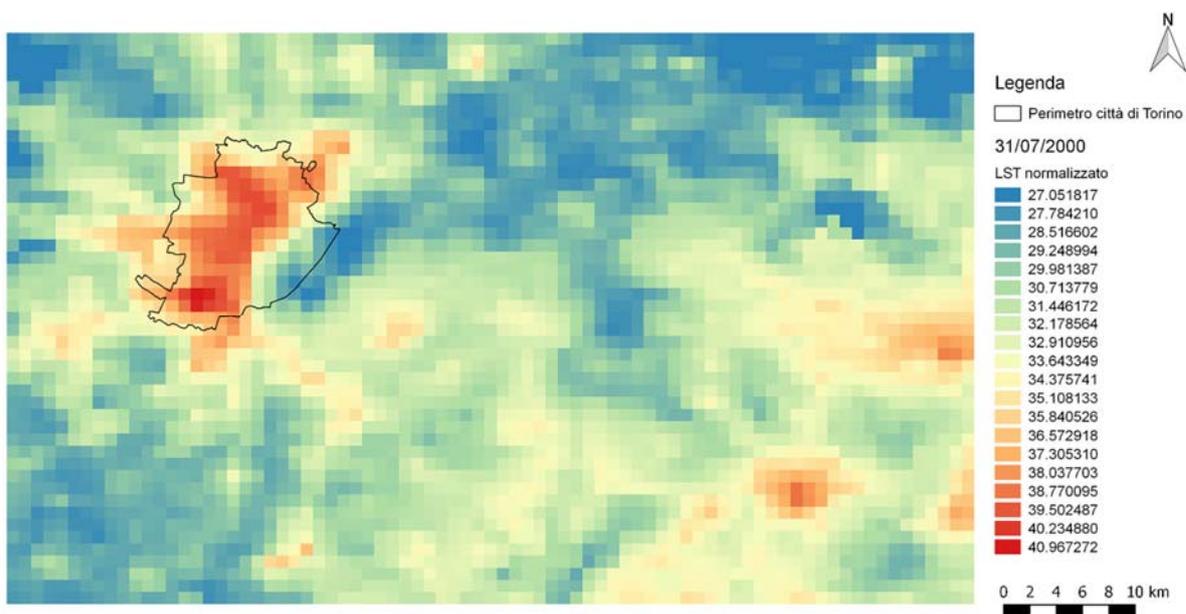
Allegato 20: Rappresentazione grafica dei valori termici del 28/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 21: Rappresentazione grafica dei valori termici del 29/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

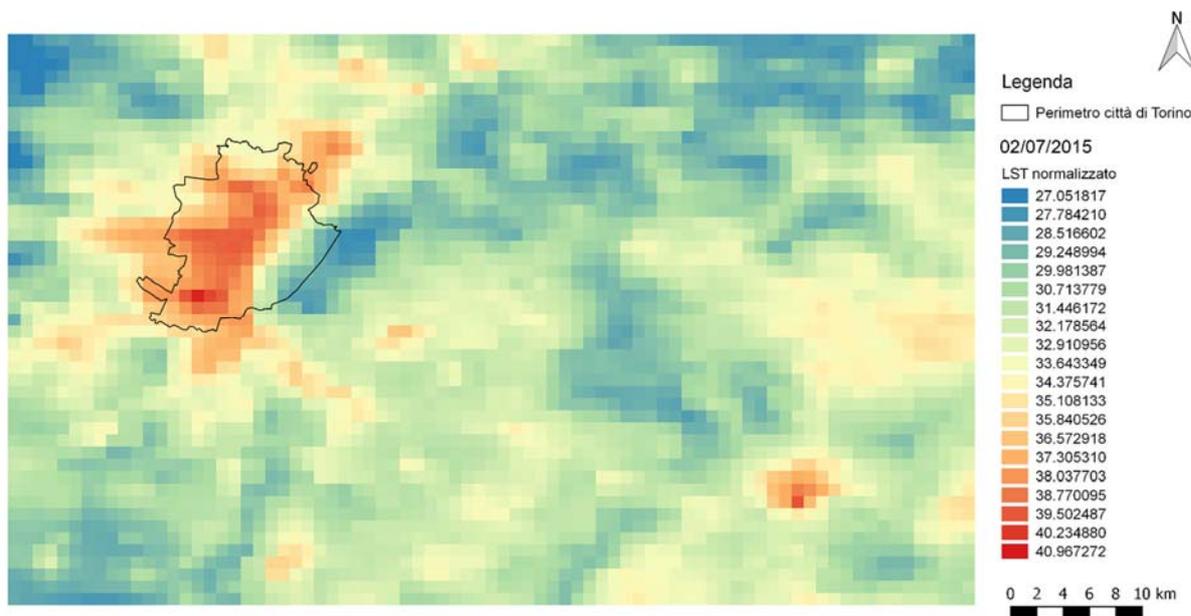


Allegato 22: Rappresentazione grafica dei valori termici del 30/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

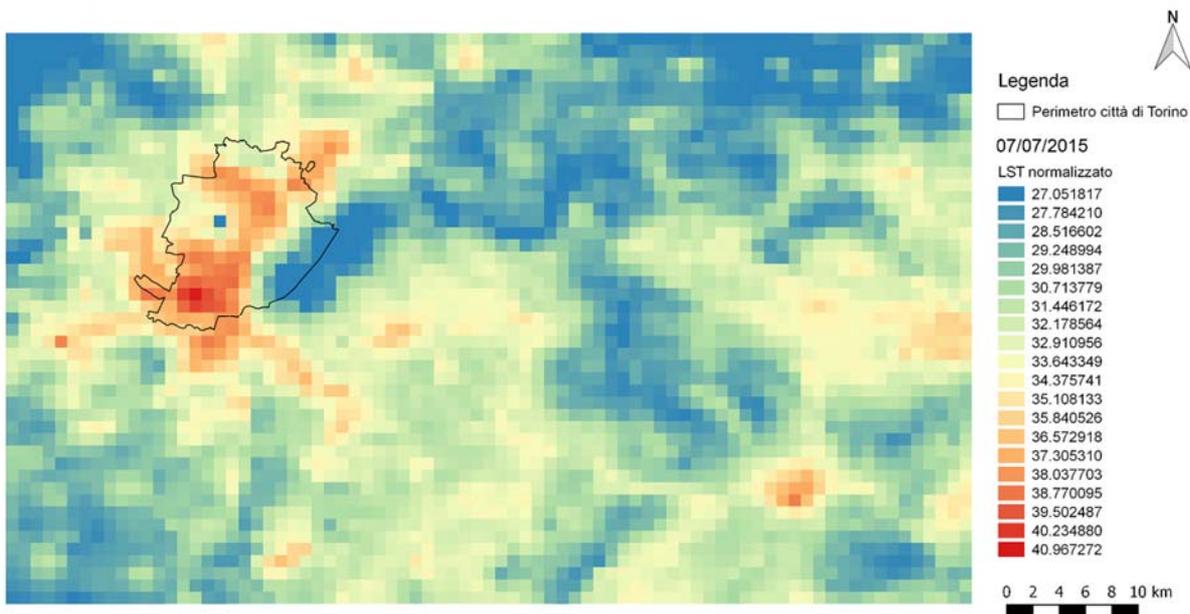


Allegato 23: Rappresentazione grafica dei valori termici del 31/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

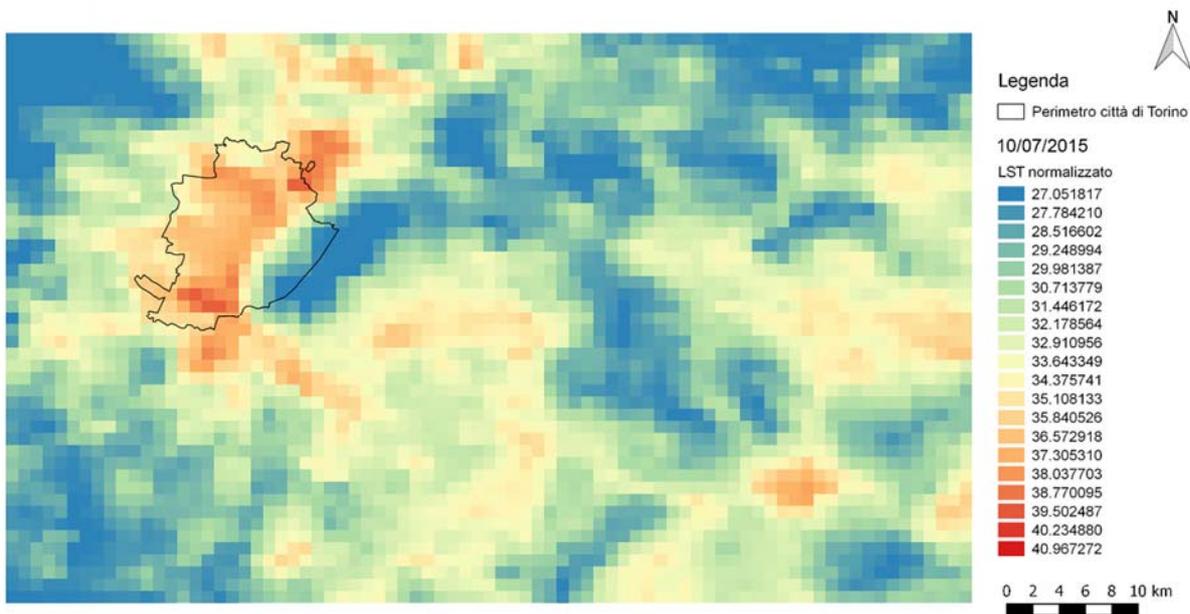
Luglio (07) 2015



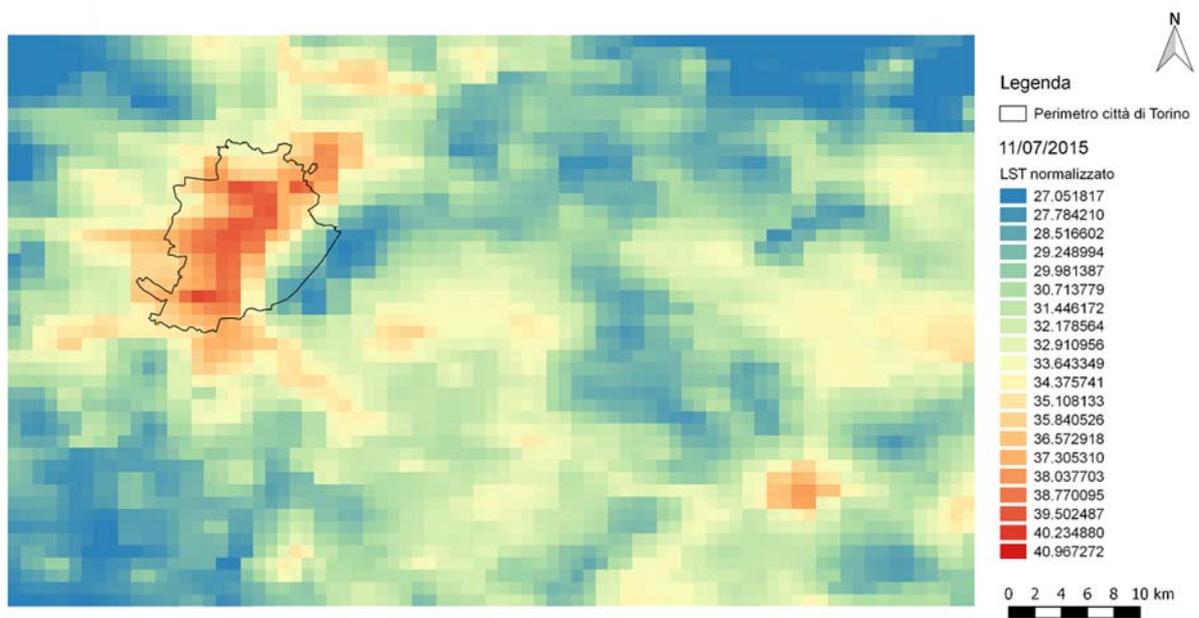
Allegato 24: Rappresentazione grafica dei valori termici del 02/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



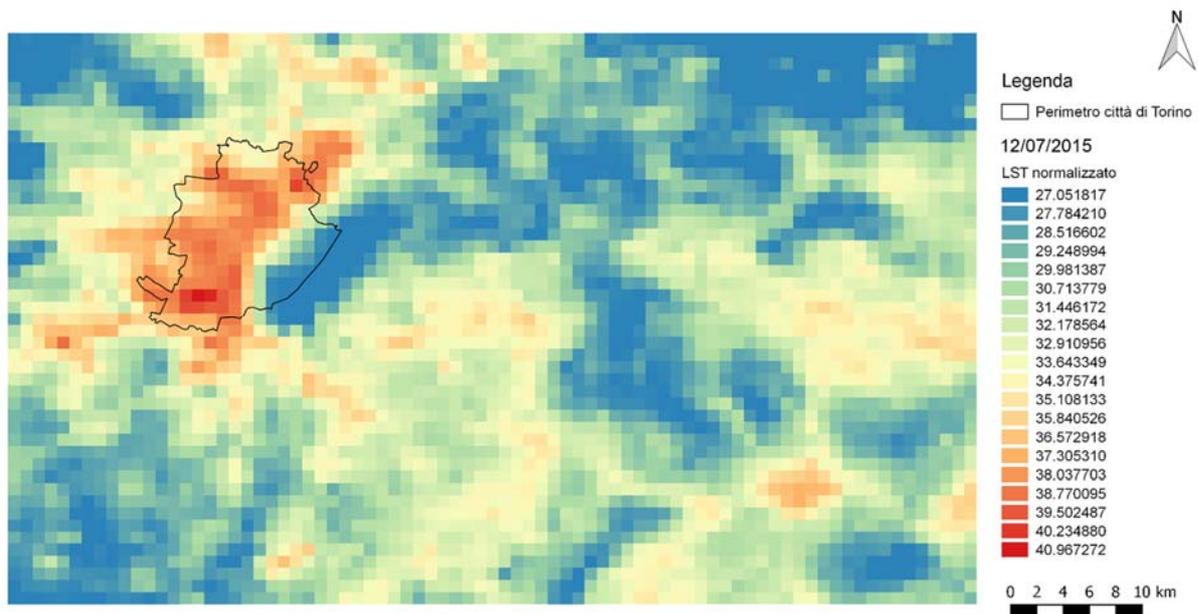
Allegato 25: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



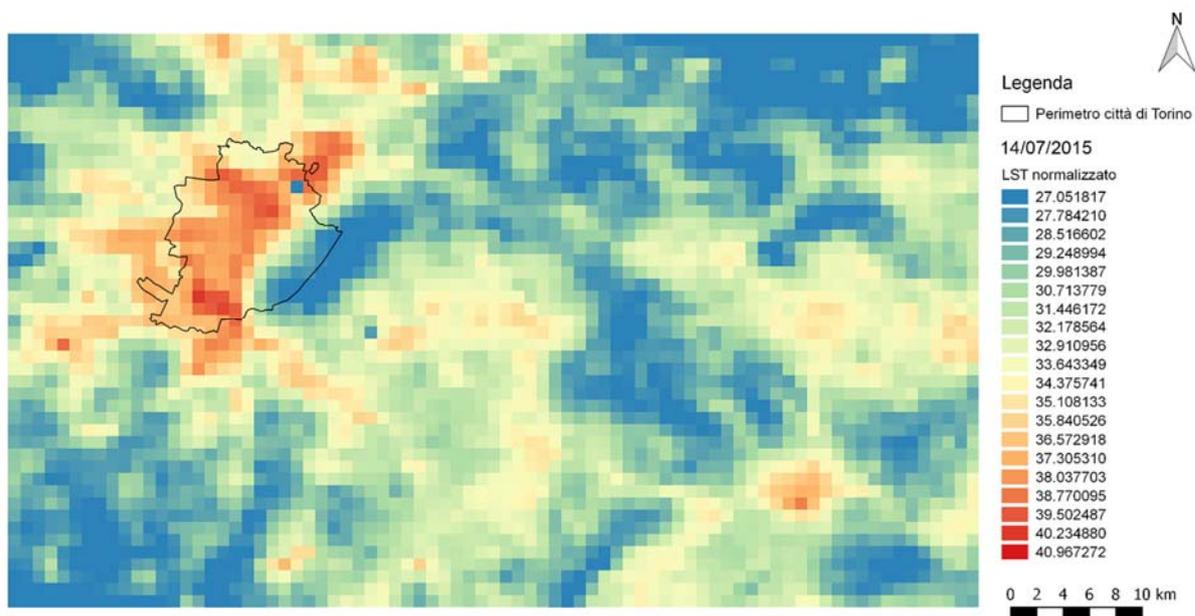
Allegato 26: Rappresentazione grafica dei valori termici del 10/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



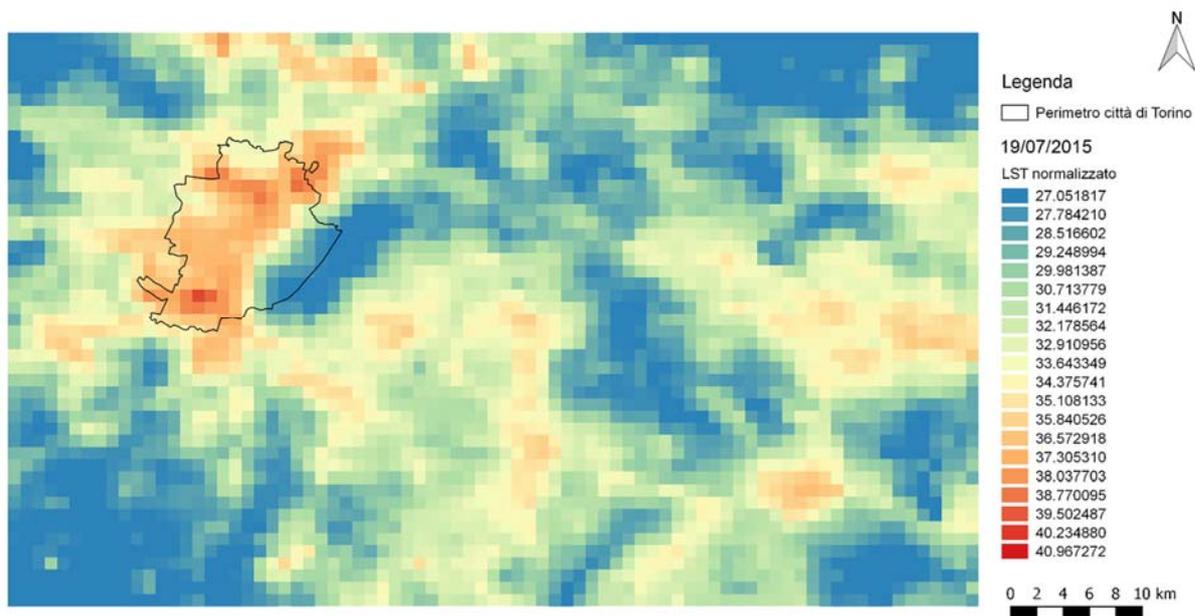
Allegato 27: Rappresentazione grafica dei valori termici del 11/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



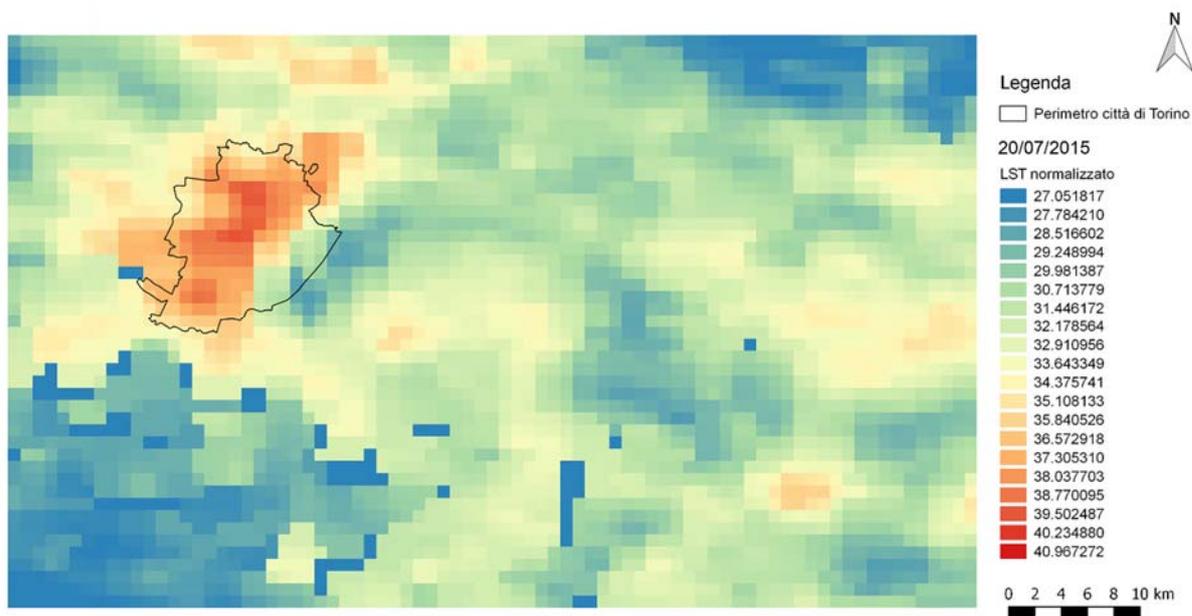
Allegato 28: Rappresentazione grafica dei valori termici del 12/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



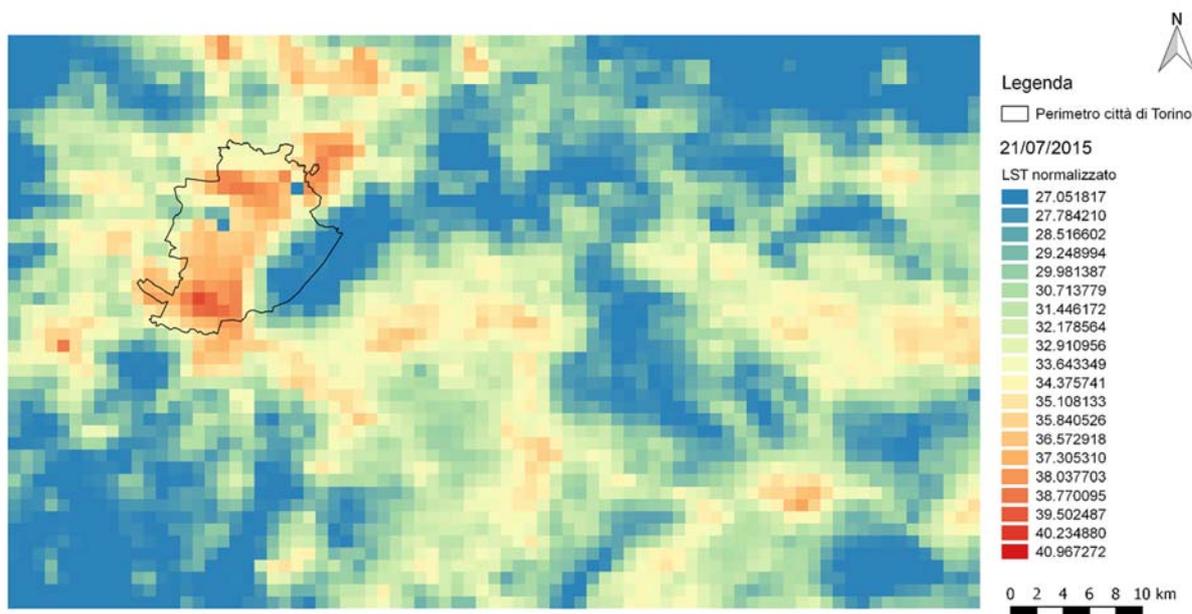
Allegato 29: Rappresentazione grafica dei valori termici del 14/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



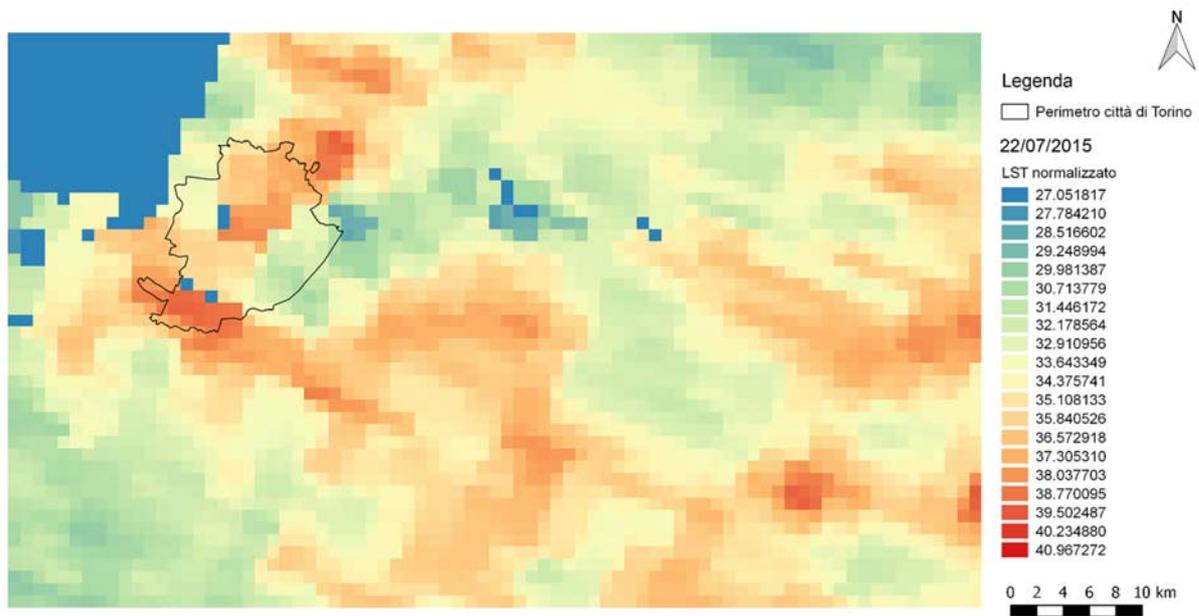
Allegato 30: Rappresentazione grafica dei valori termici del 19/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



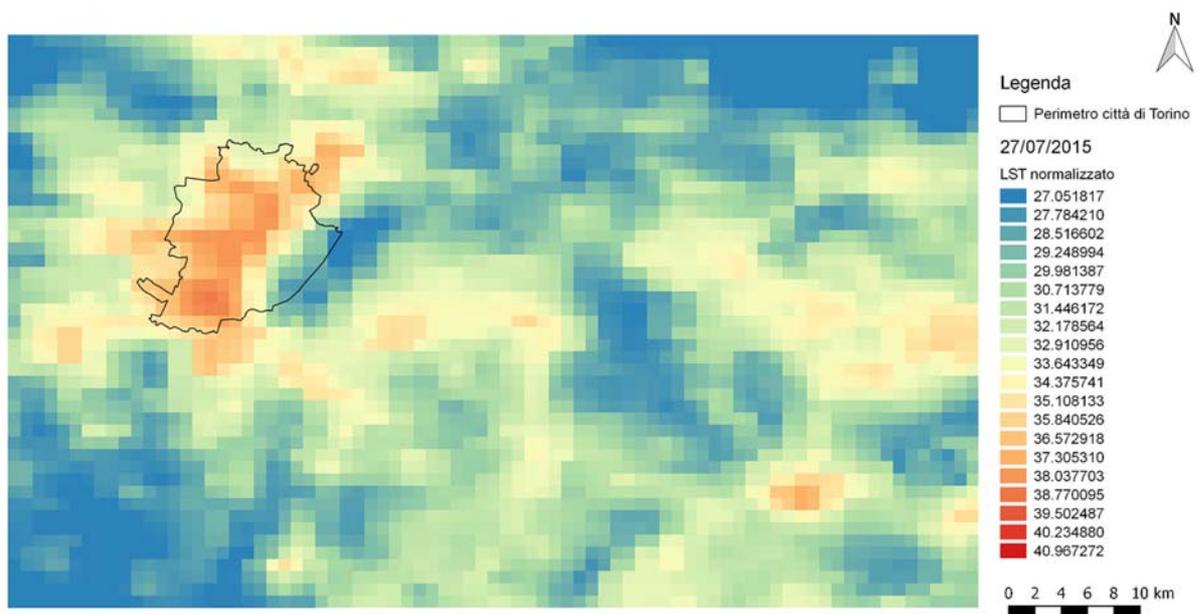
Allegato 31: Rappresentazione grafica dei valori termici del 20/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 32: Rappresentazione grafica dei valori termici del 21/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



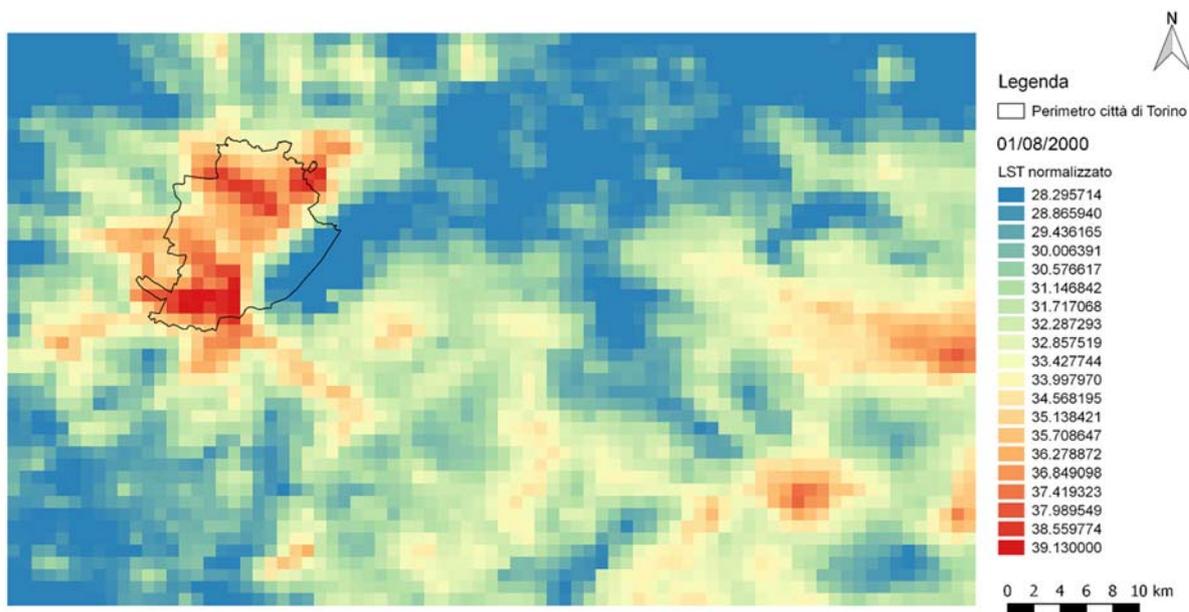
Allegato 33: Rappresentazione grafica dei valori termici del 22/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



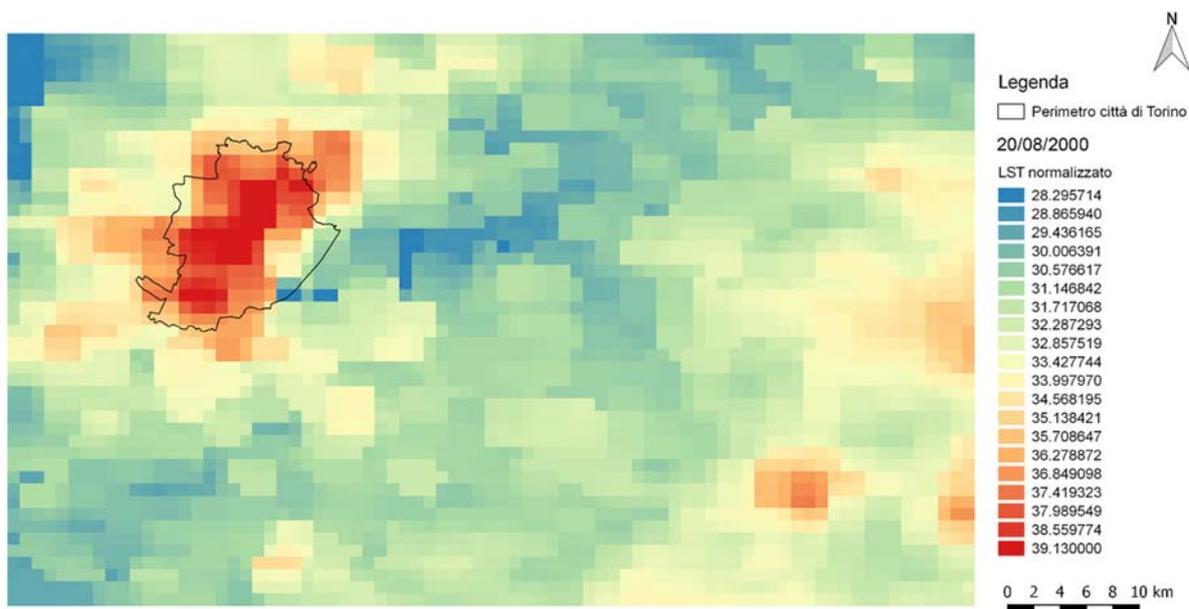
Allegato 34: Rappresentazione grafica dei valori termici del 27/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



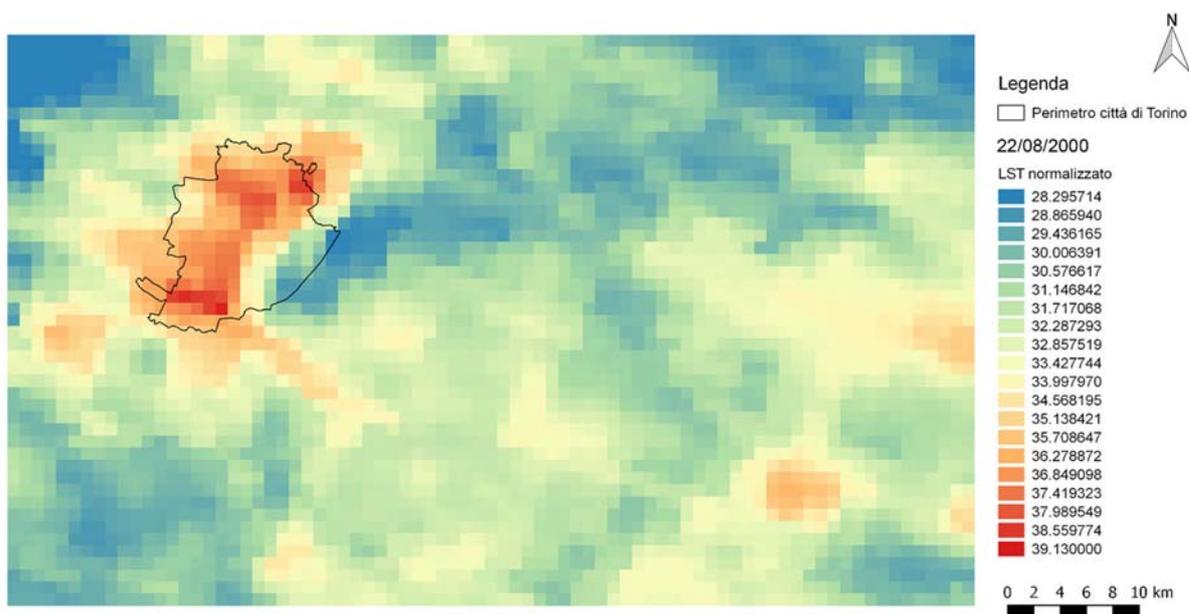
Agosto (08) 2000



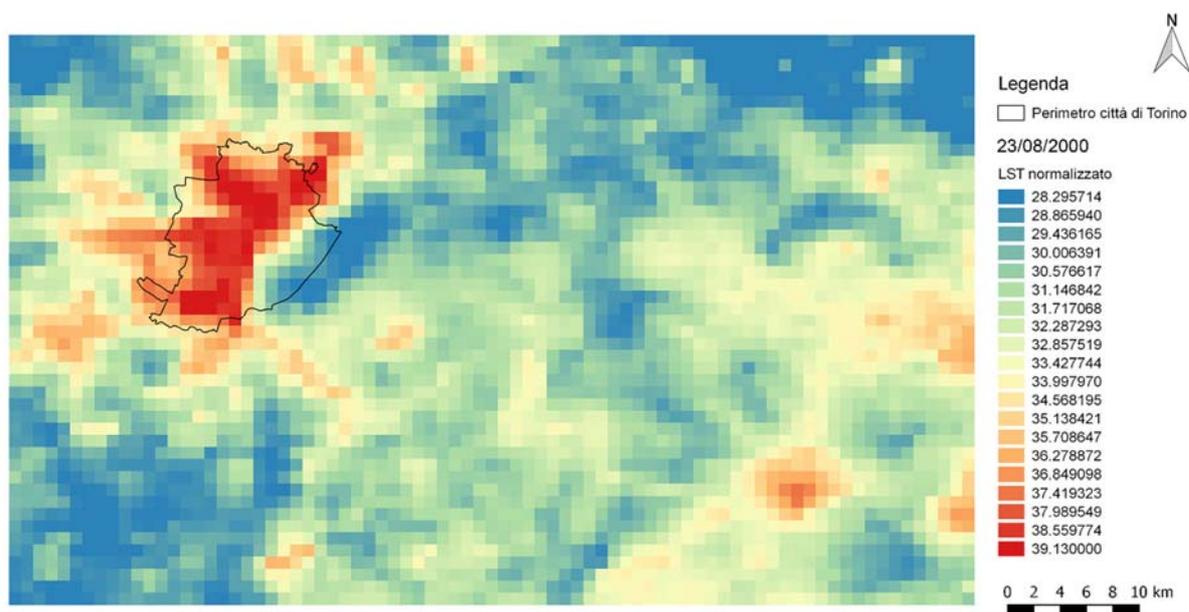
Allegato 35: Rappresentazione grafica dei valori termici del 01/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



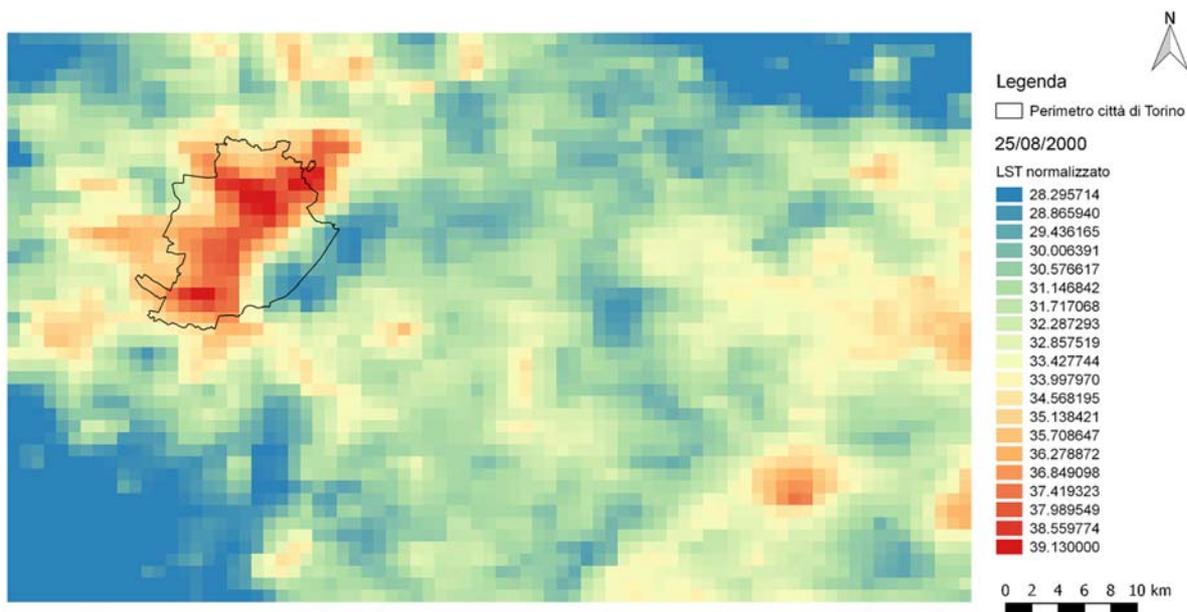
Allegato 36: Rappresentazione grafica dei valori termici del 20/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



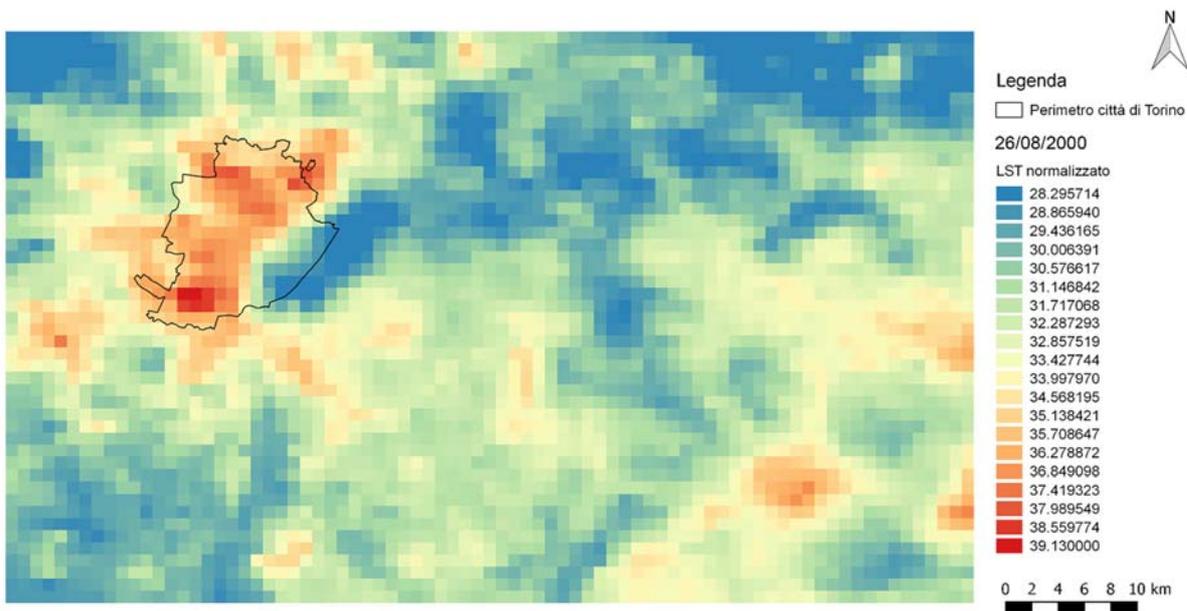
Allegato 37: Rappresentazione grafica dei valori termici del 22/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



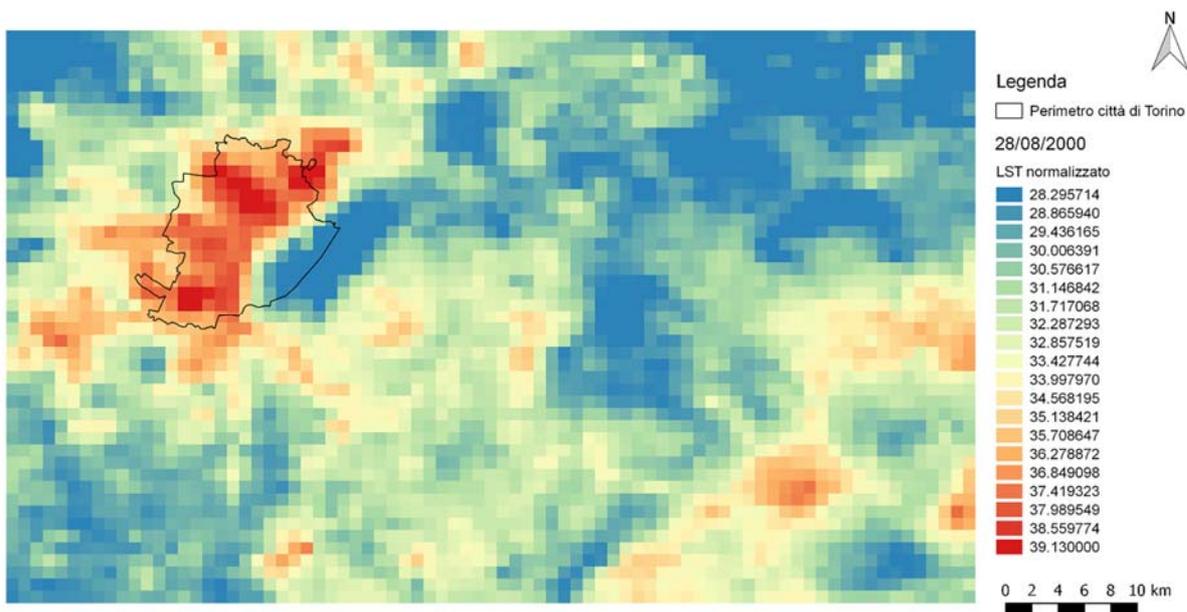
Allegato 38: Rappresentazione grafica dei valori termici del 23/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 39: Rappresentazione grafica dei valori termici del 25/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

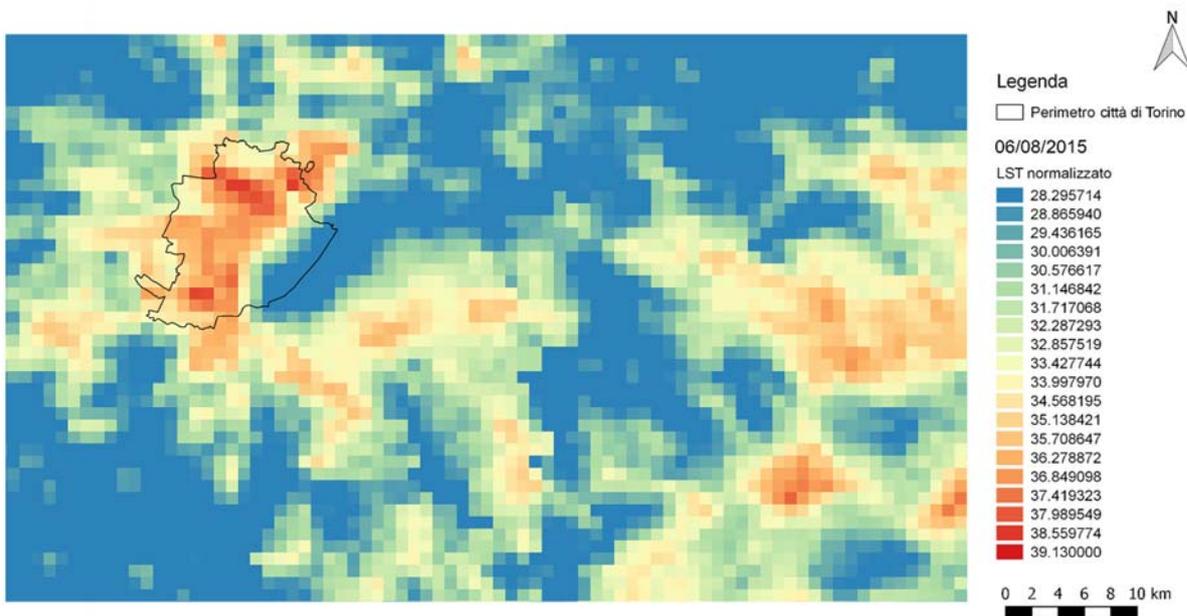


Allegato 40: Rappresentazione grafica dei valori termici del 26/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

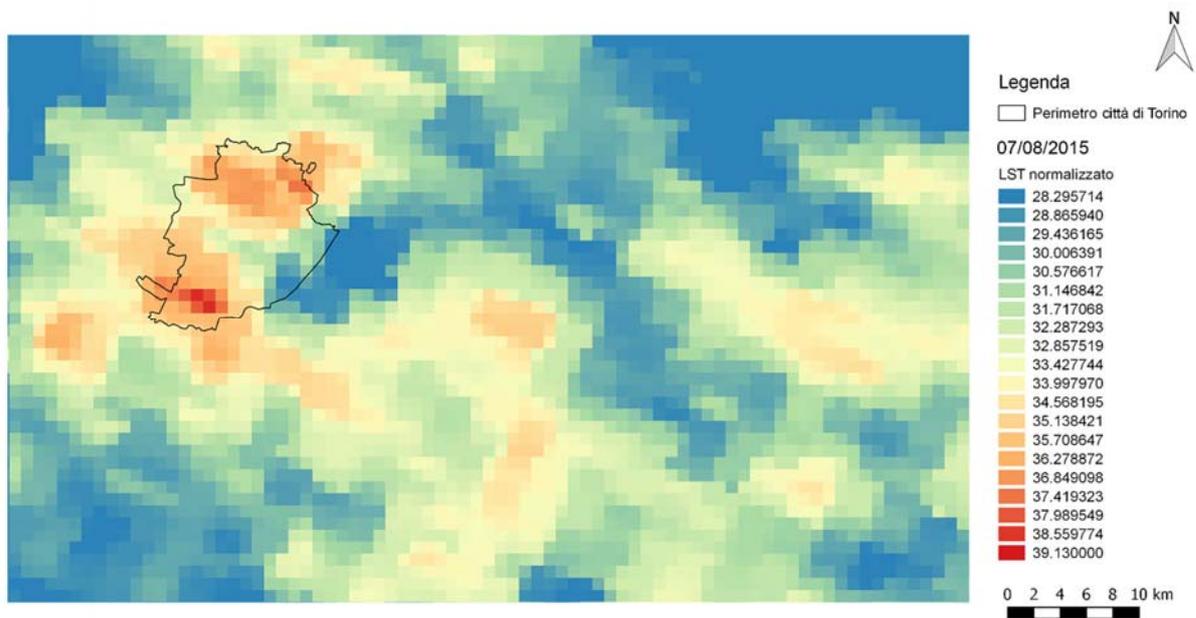


Allegato 41: Rappresentazione grafica dei valori termici del 28/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

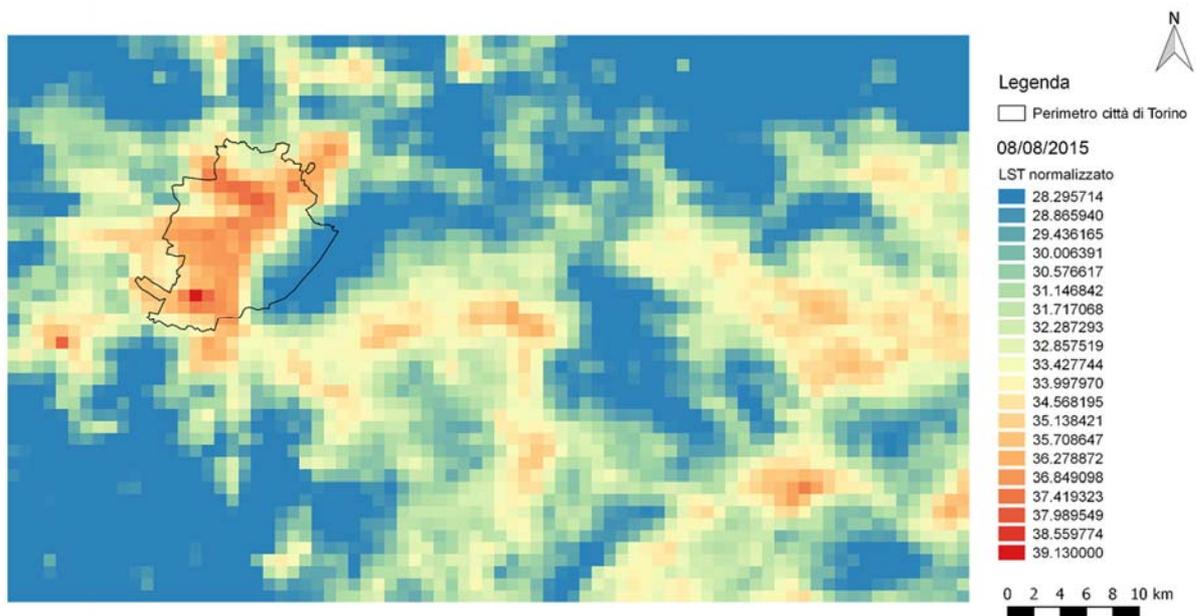
Agosto (08) 2015



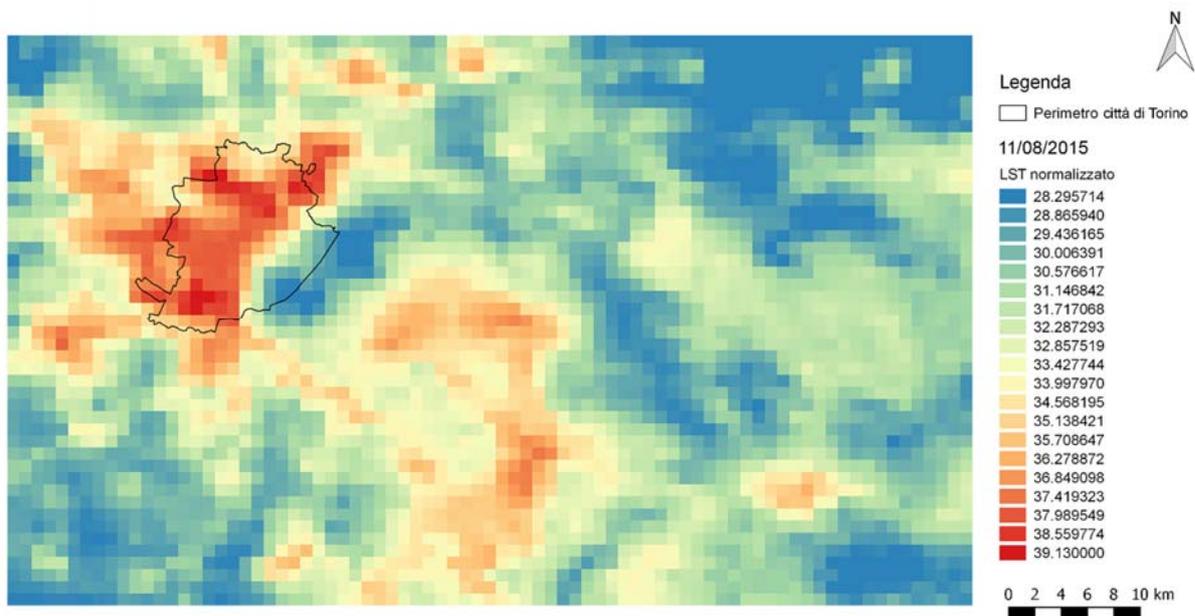
Allegato 42: Rappresentazione grafica dei valori termici del 06/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



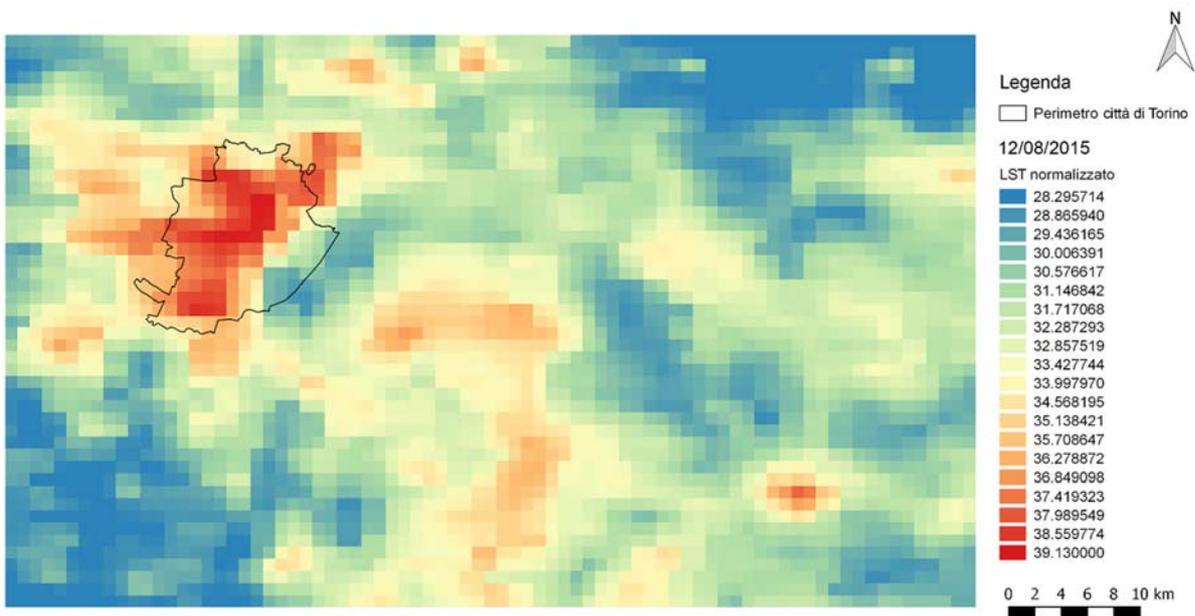
Allegato 43: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



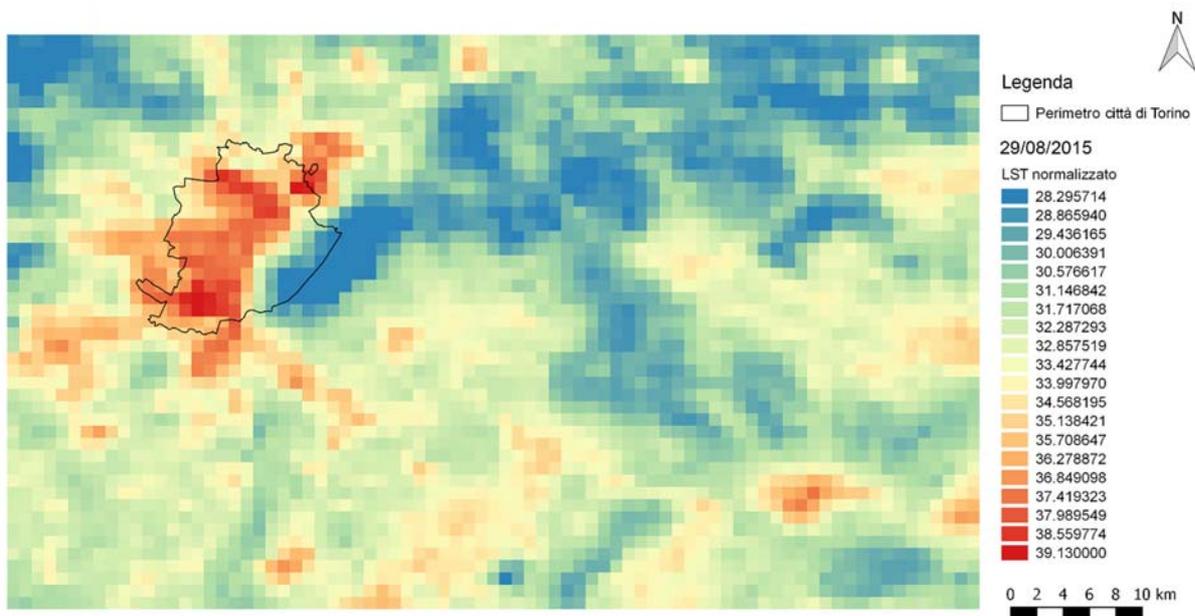
Allegato 44: Rappresentazione grafica dei valori termici del 08/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



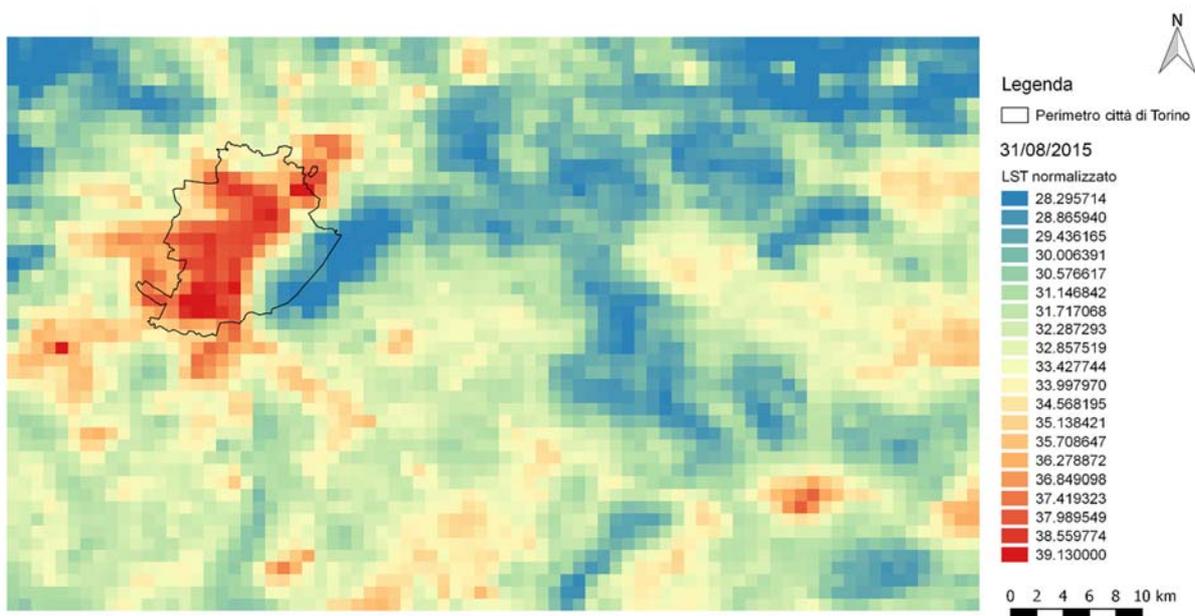
Allegato 45: Rappresentazione grafica dei valori termici del 11/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 46: Rappresentazione grafica dei valori termici del 12/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 47: Rappresentazione grafica dei valori termici del 29/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].

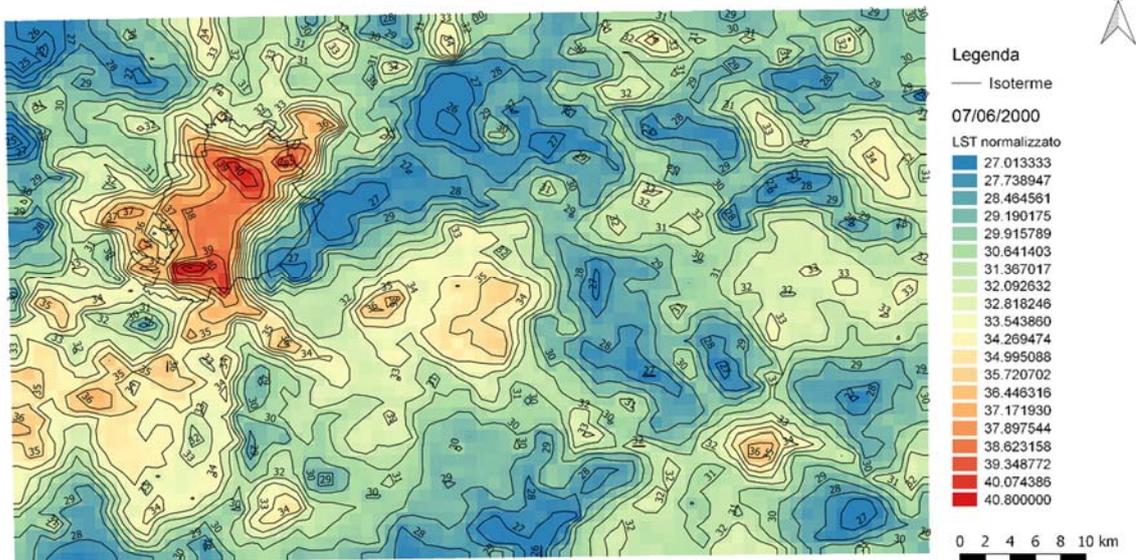


Allegato 48: Rappresentazione grafica dei valori termici del 31/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].

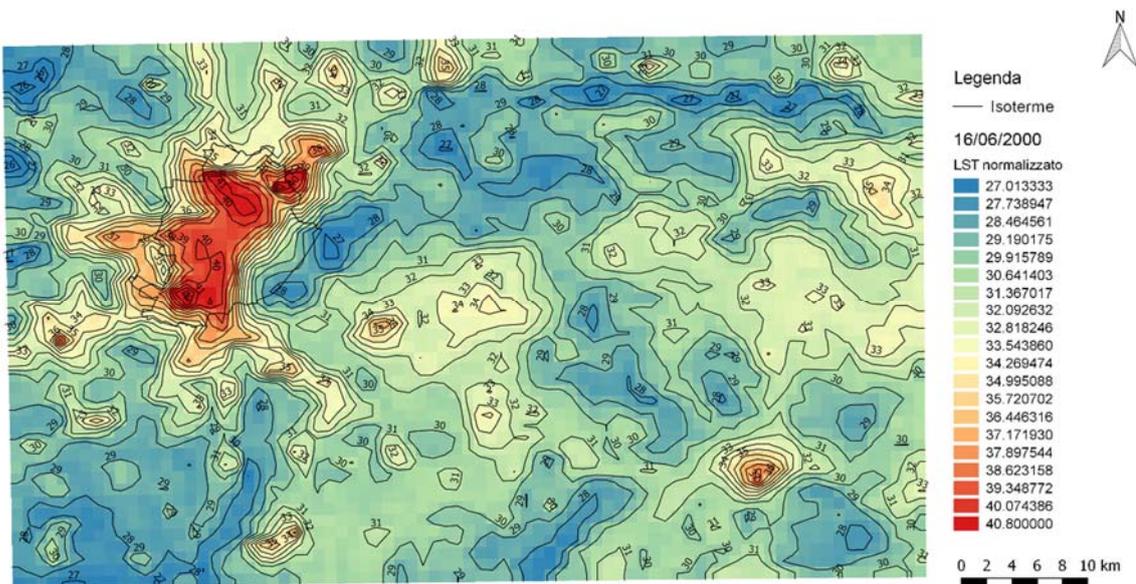


ALLEGATO B – ISOTERME DI GIUGNO, LUGLIO E AGOSTO DEL 2000 E DEL 2015

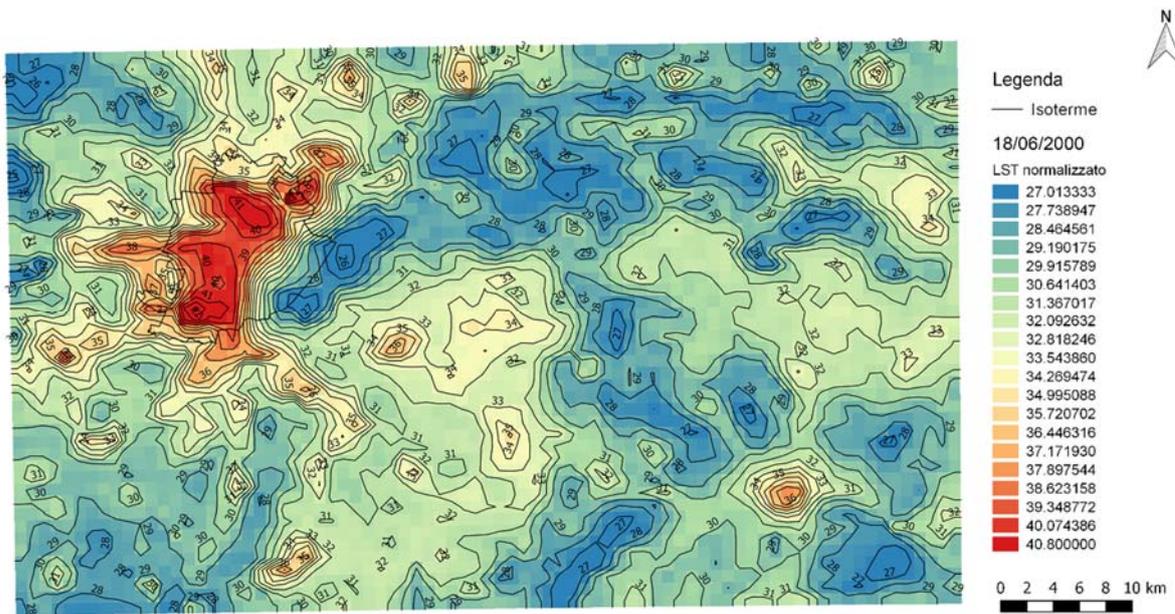
Giugno (06) 2000



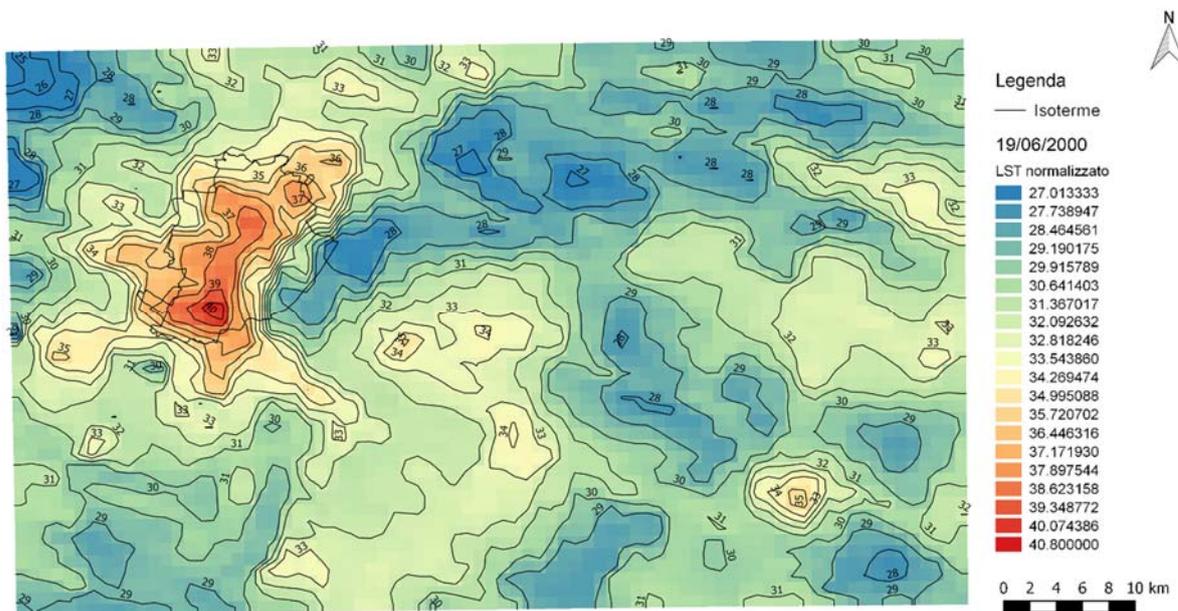
Allegato 49: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



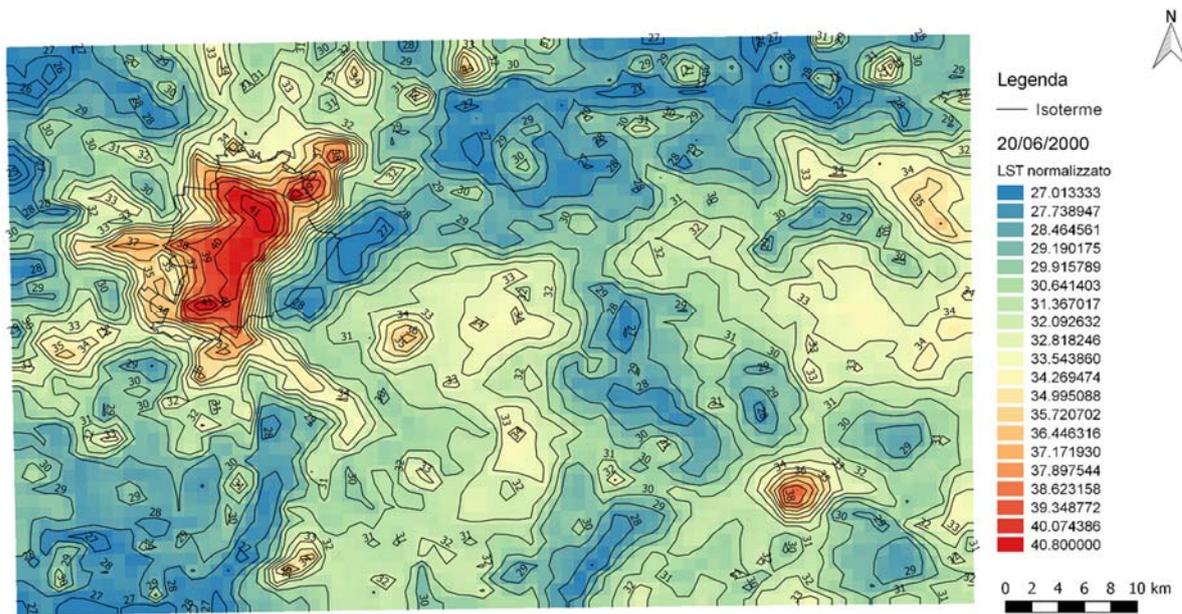
Allegato 50: Rappresentazione grafica dei valori termici del 16/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



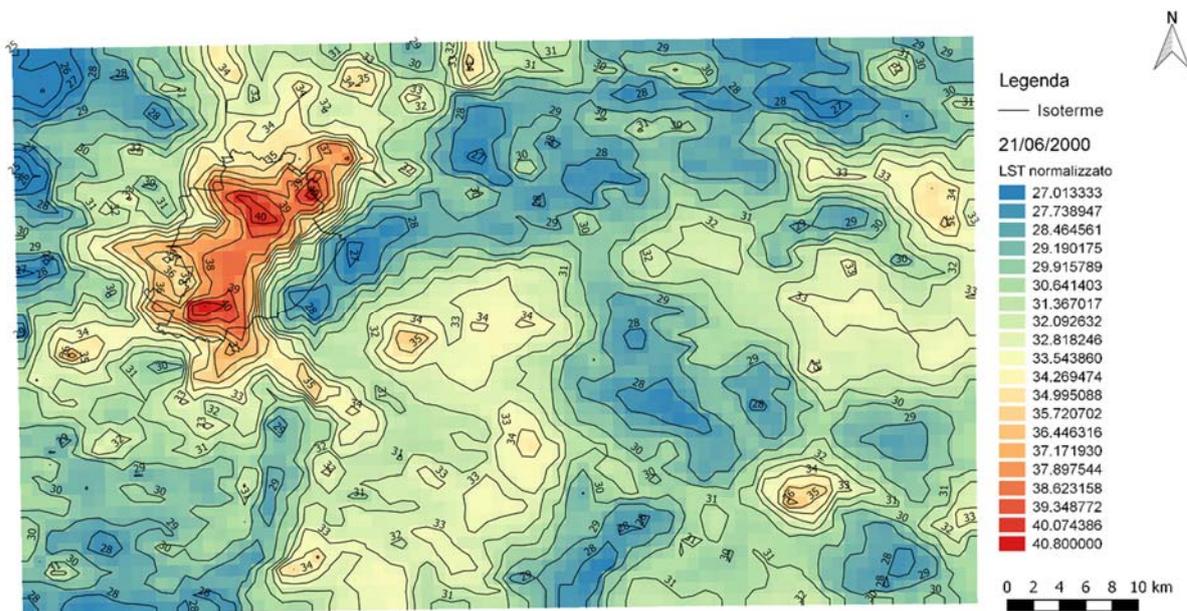
Allegato 51: Rappresentazione grafica dei valori termici del 18/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 52: Rappresentazione grafica dei valori termici del 19/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



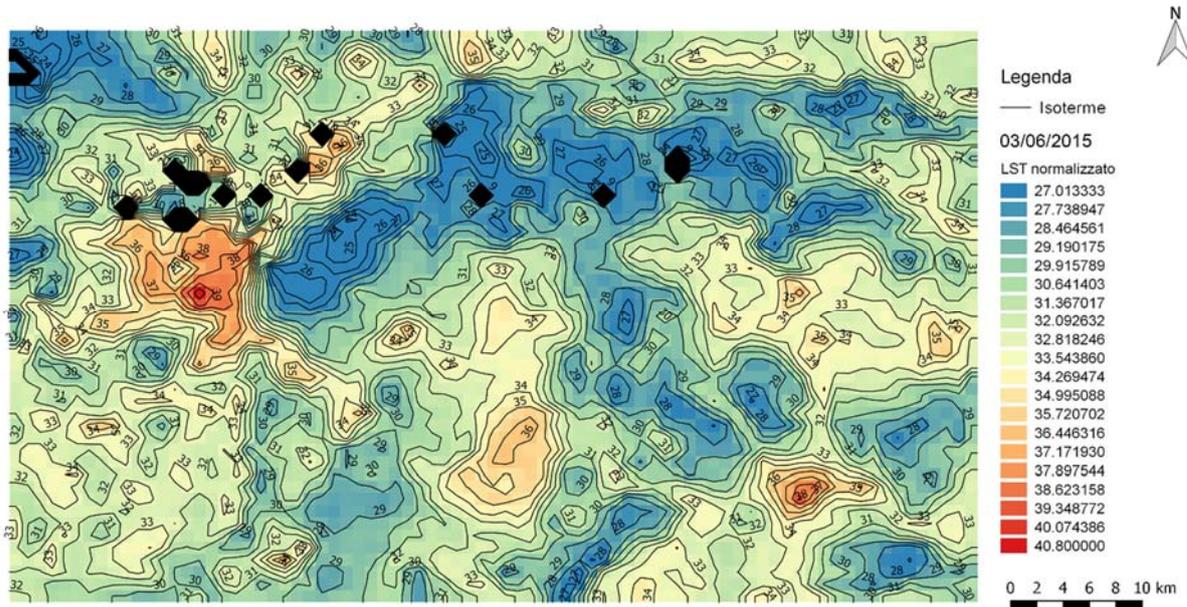
Allegato 53: Rappresentazione grafica dei valori termici del 20/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria]



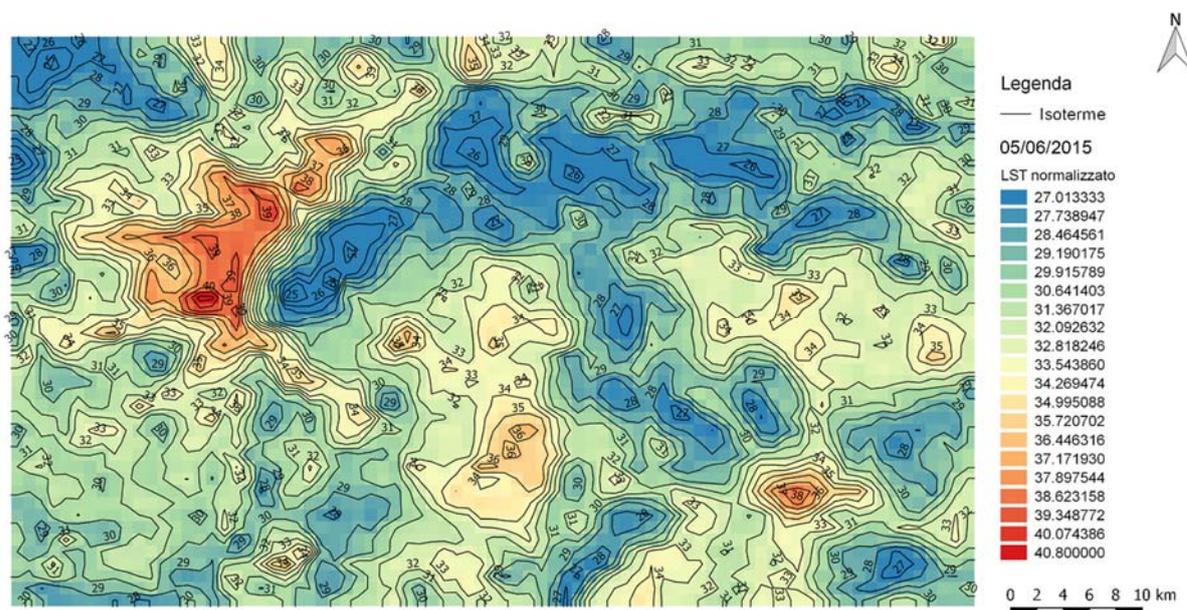
Allegato 54: Rappresentazione grafica dei valori termici del 21/06/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



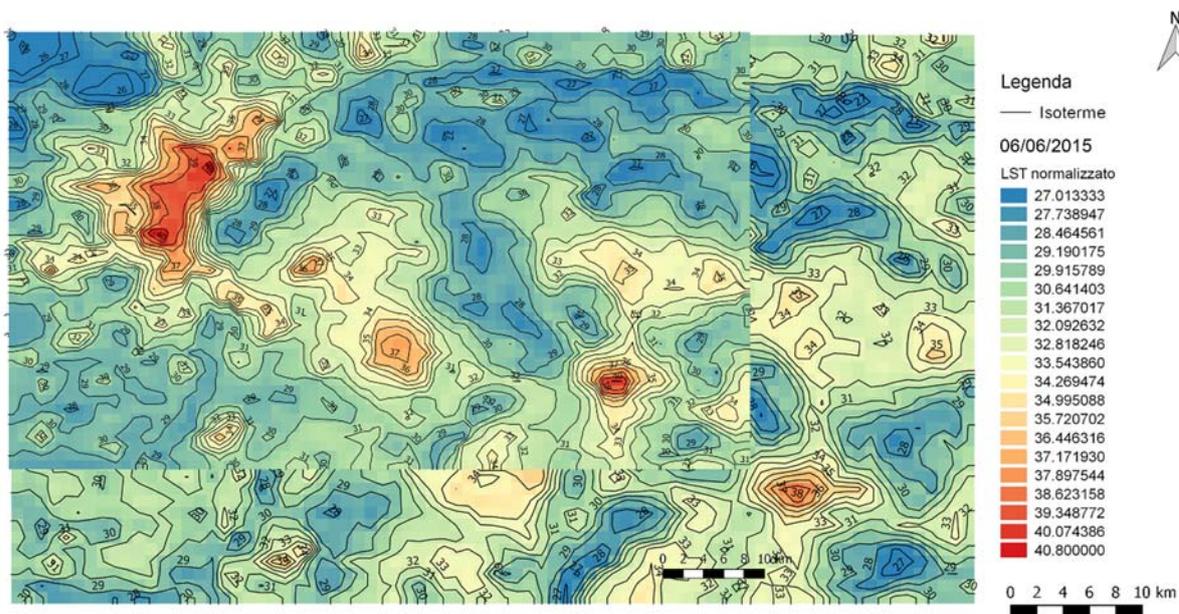
Giugno (06) 2015



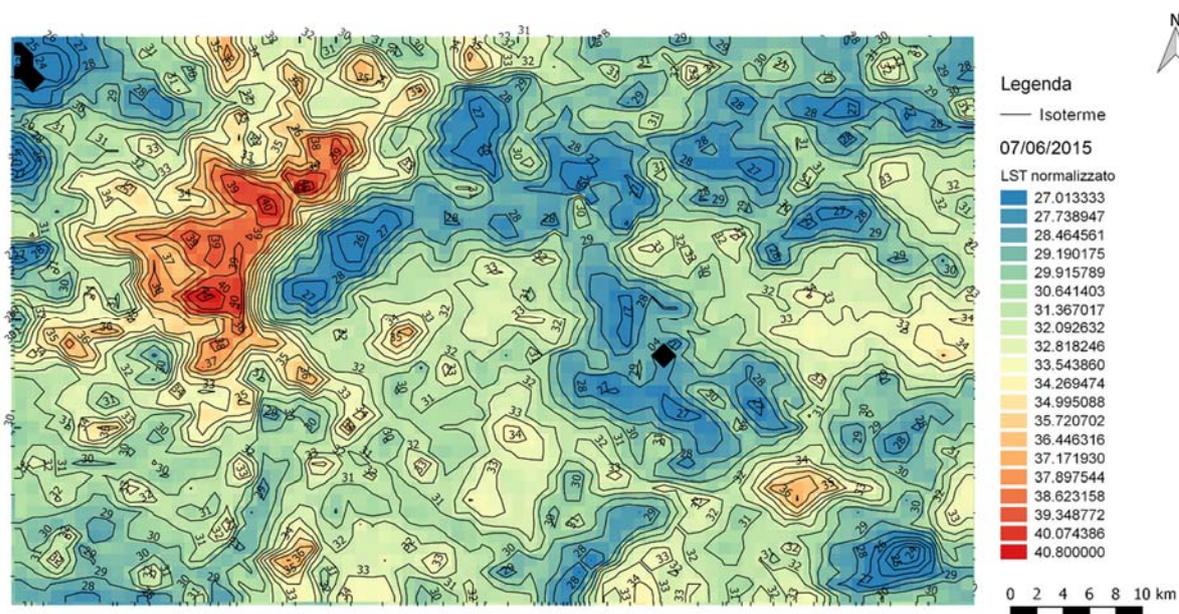
Allegato 55: Rappresentazione grafica dei valori termici del 03/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



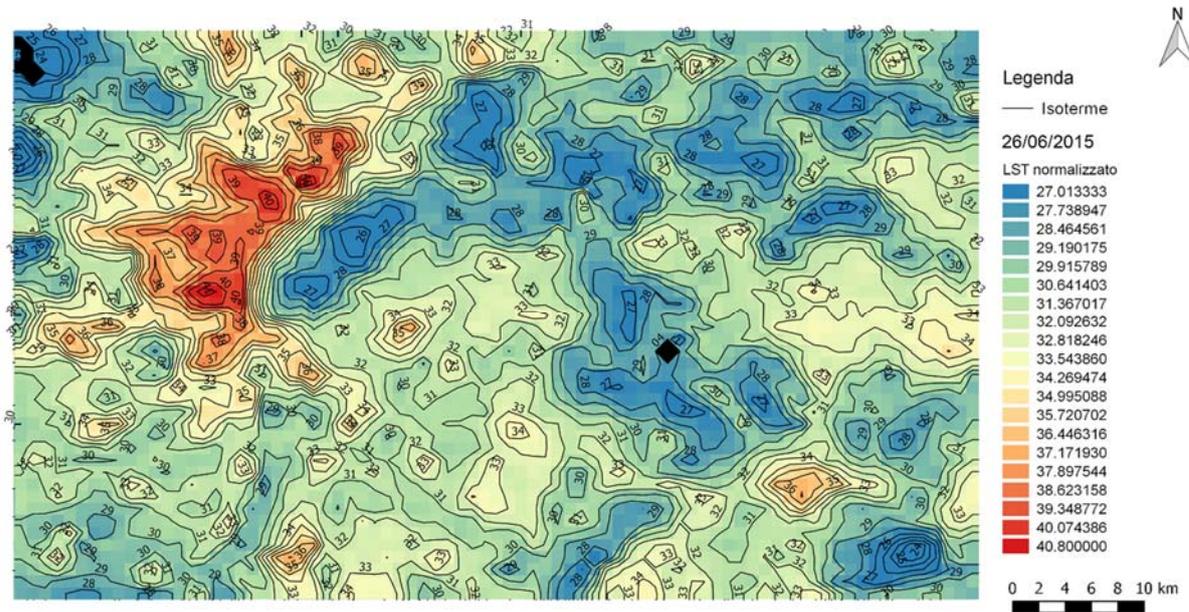
Allegato 56: Rappresentazione grafica dei valori termici del 05/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



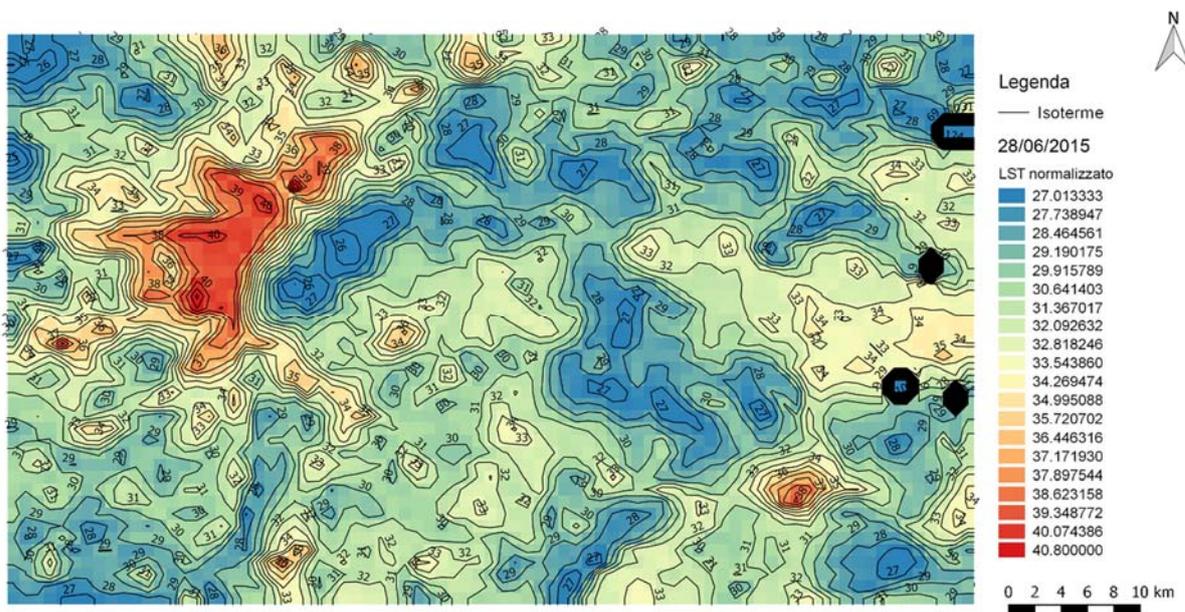
Allegato 57: Rappresentazione grafica dei valori termici del 06/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 58: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



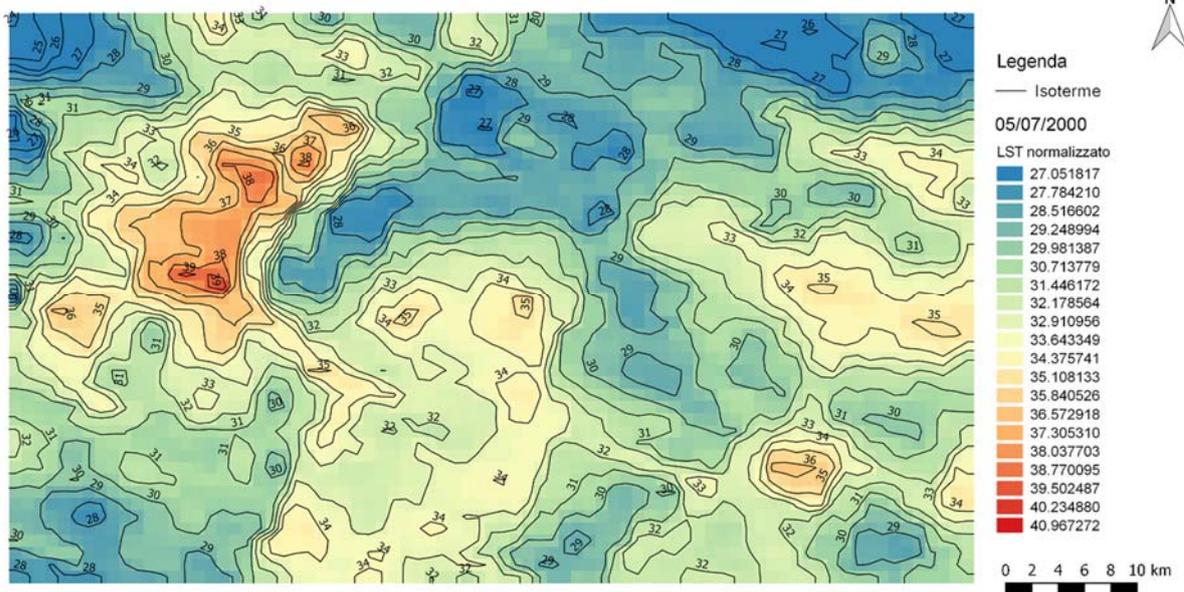
Allegato 59: Rappresentazione grafica dei valori termici del 26/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



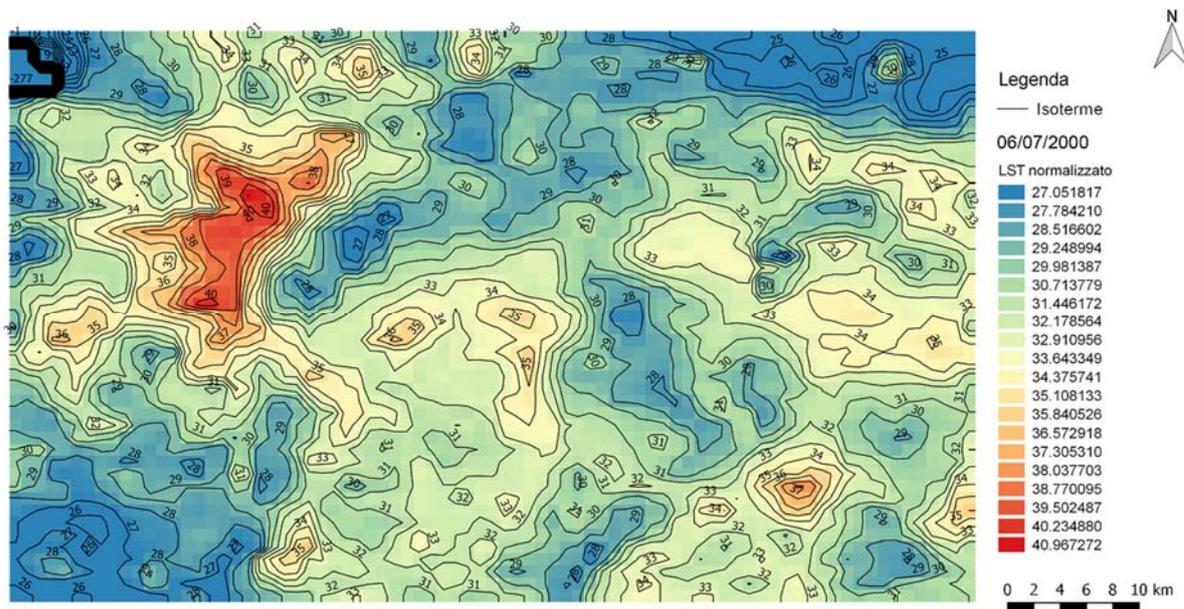
Allegato 60: Rappresentazione grafica dei valori termici del 28/06/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



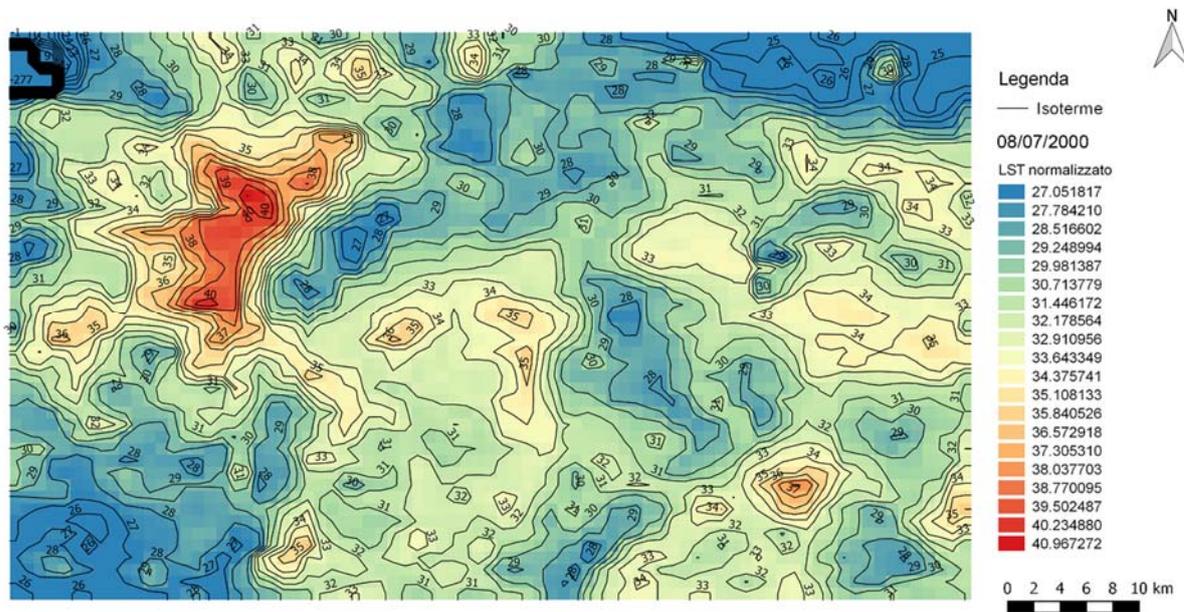
Luglio (07) 2000



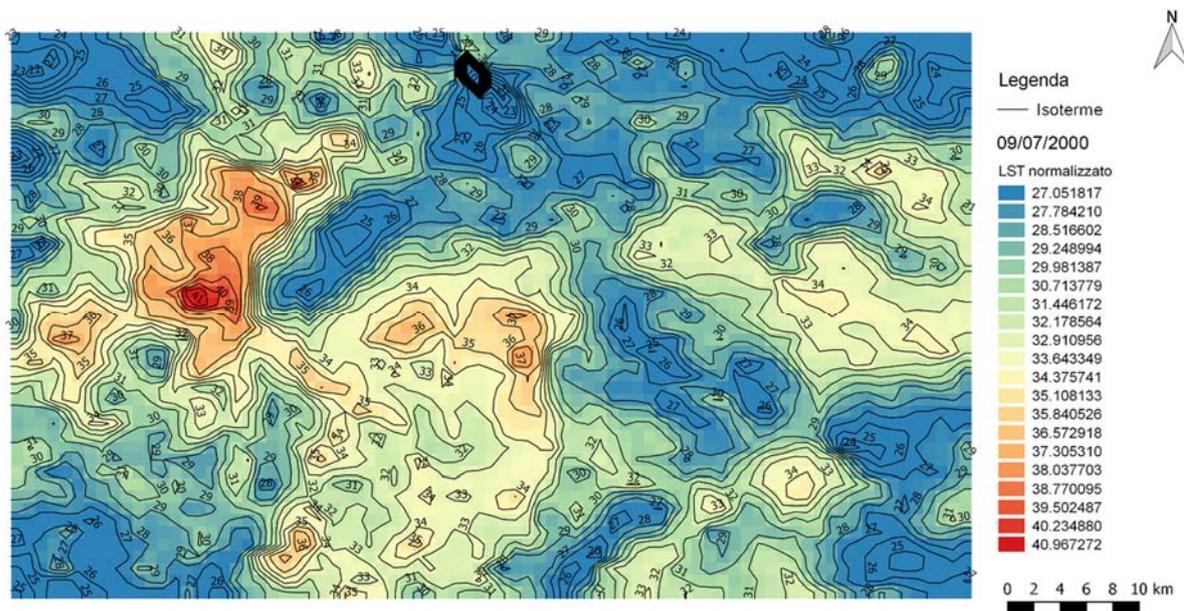
Allegato 61: Rappresentazione grafica dei valori termici del 05/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



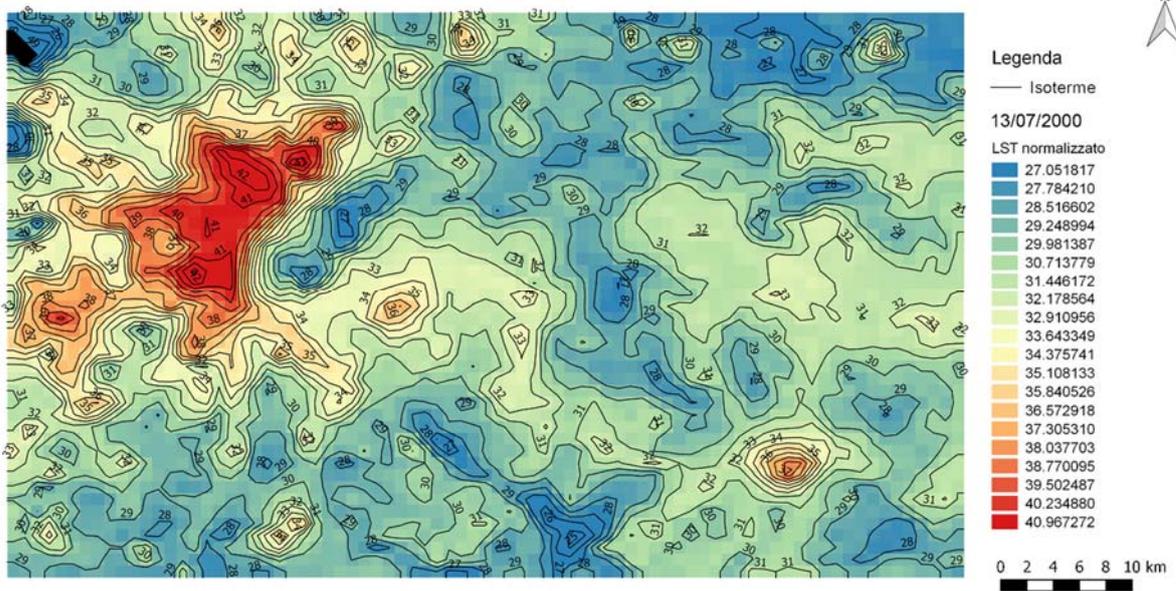
Allegato 62: Rappresentazione grafica dei valori termici del 06/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



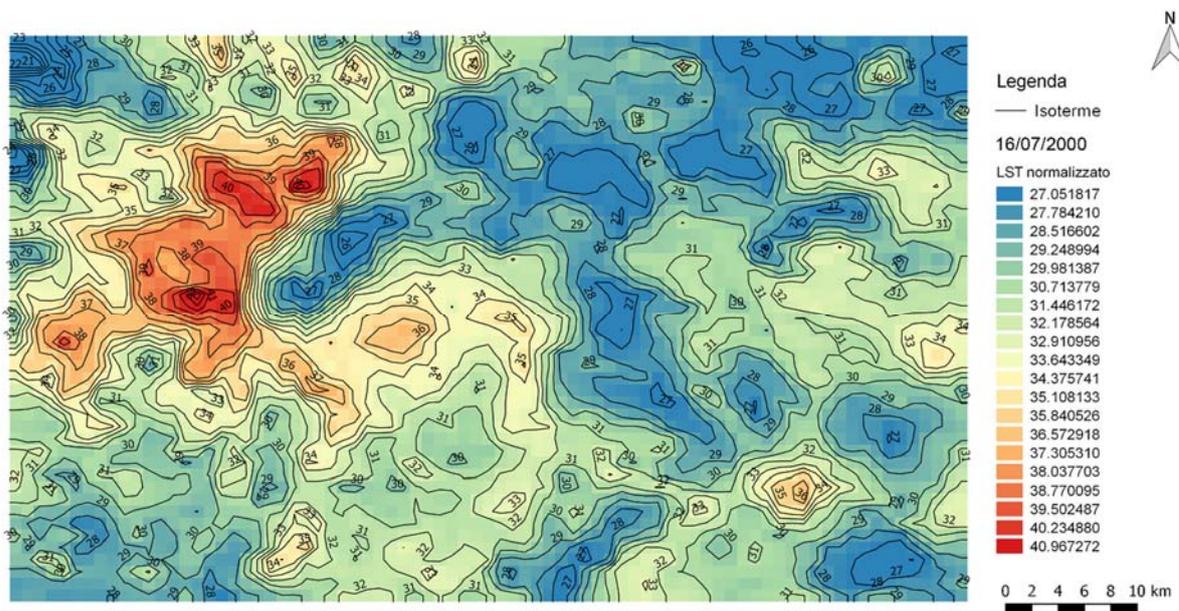
Allegato 63: Rappresentazione grafica dei valori termici del 08/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



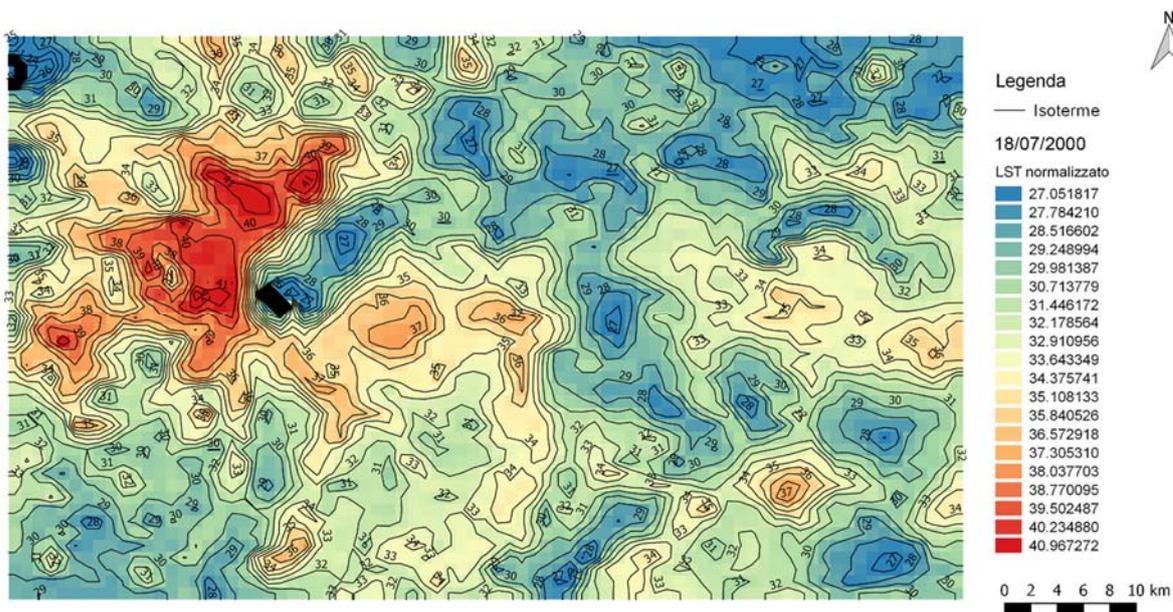
Allegato 64: Rappresentazione grafica dei valori termici del 09/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



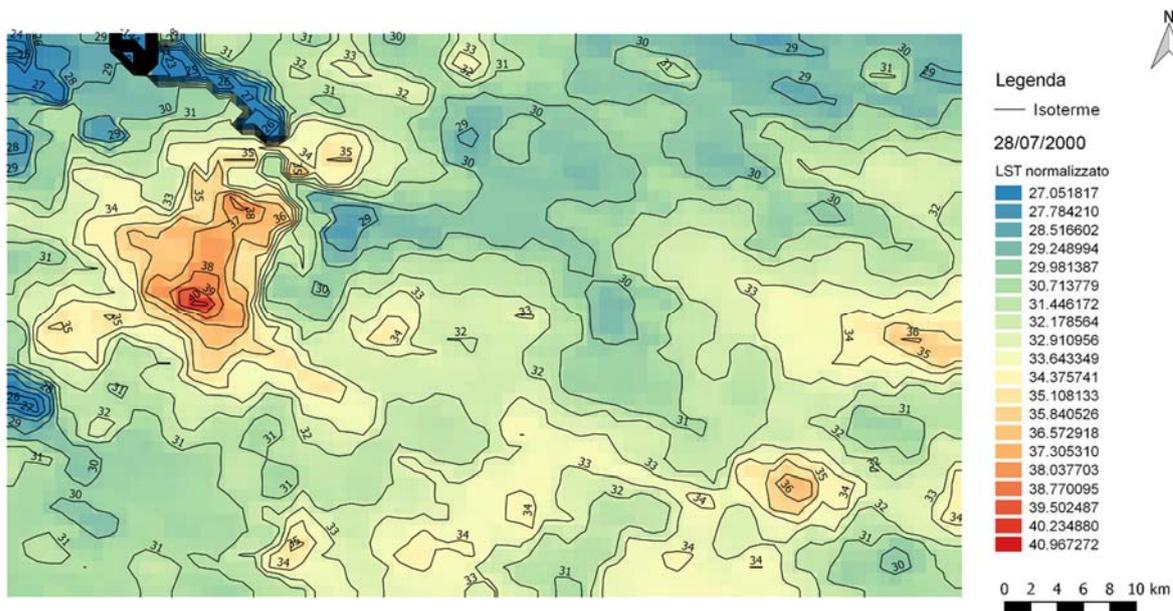
Allegato 65: Rappresentazione grafica dei valori termici del 13/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



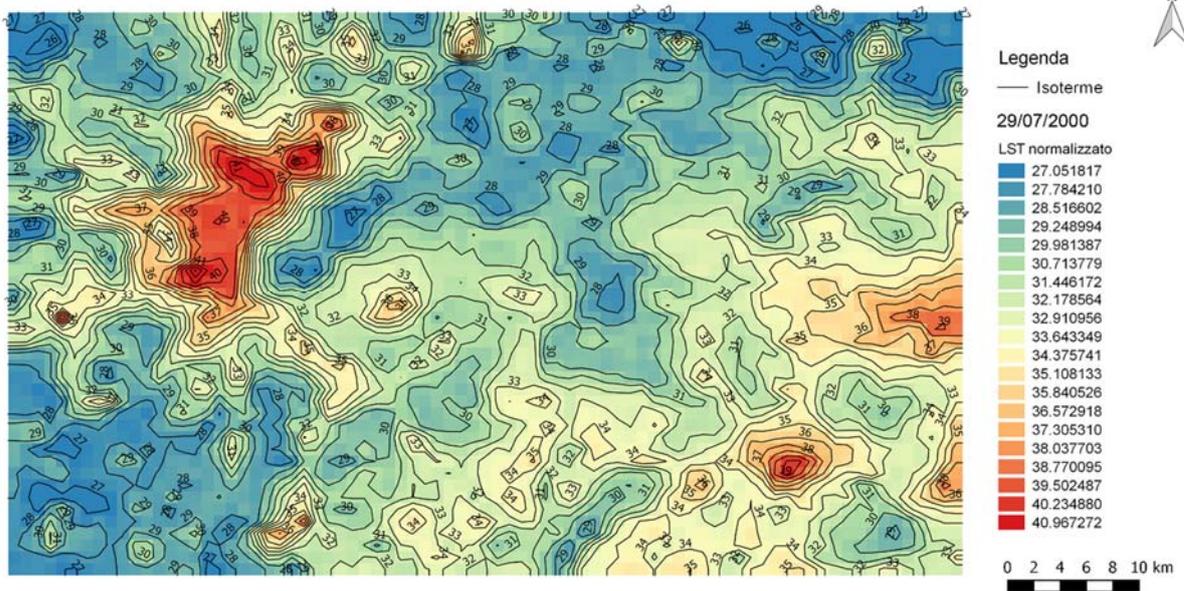
Allegato 66: Rappresentazione grafica dei valori termici del 16/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



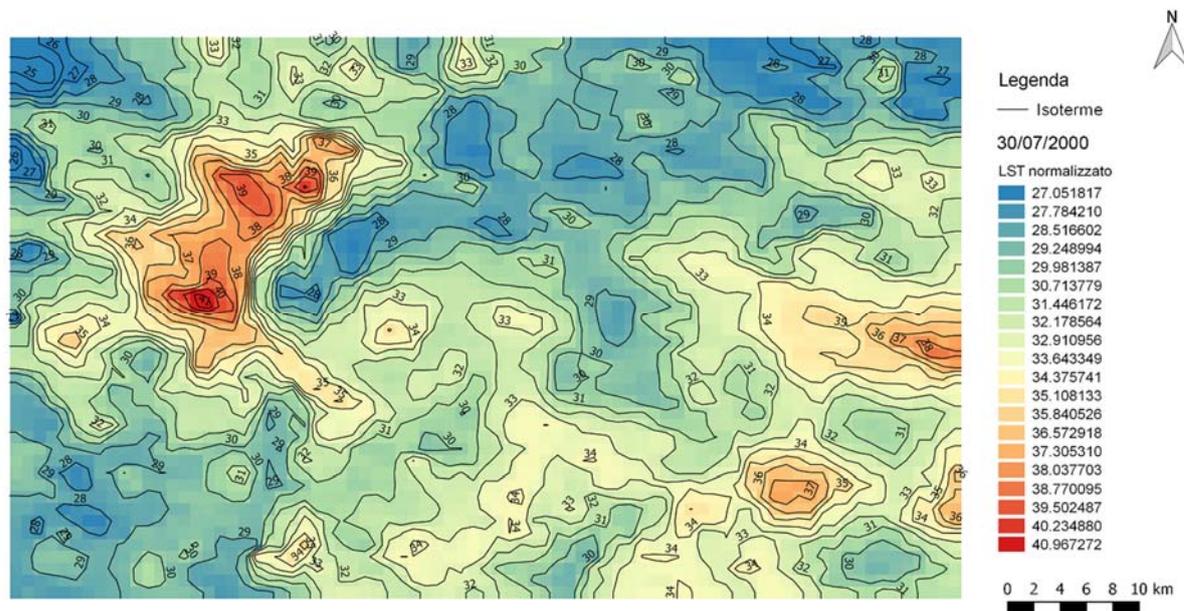
Allegato 67: Rappresentazione grafica dei valori termici del 18/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



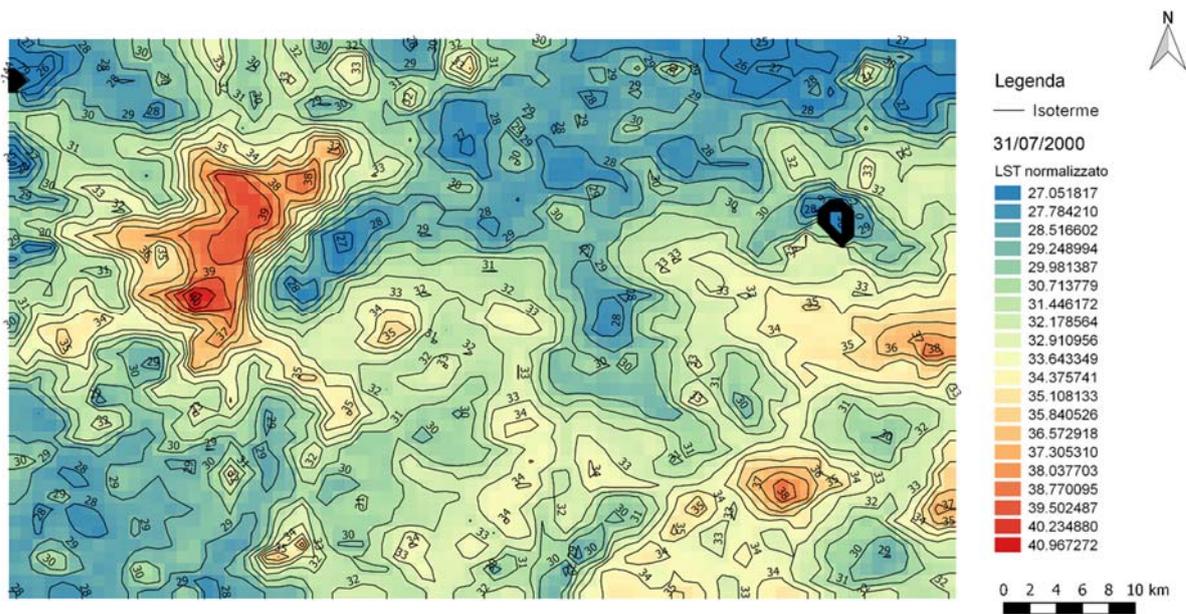
Allegato 68: Rappresentazione grafica dei valori termici del 28/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 69: Rappresentazione grafica dei valori termici del 29/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

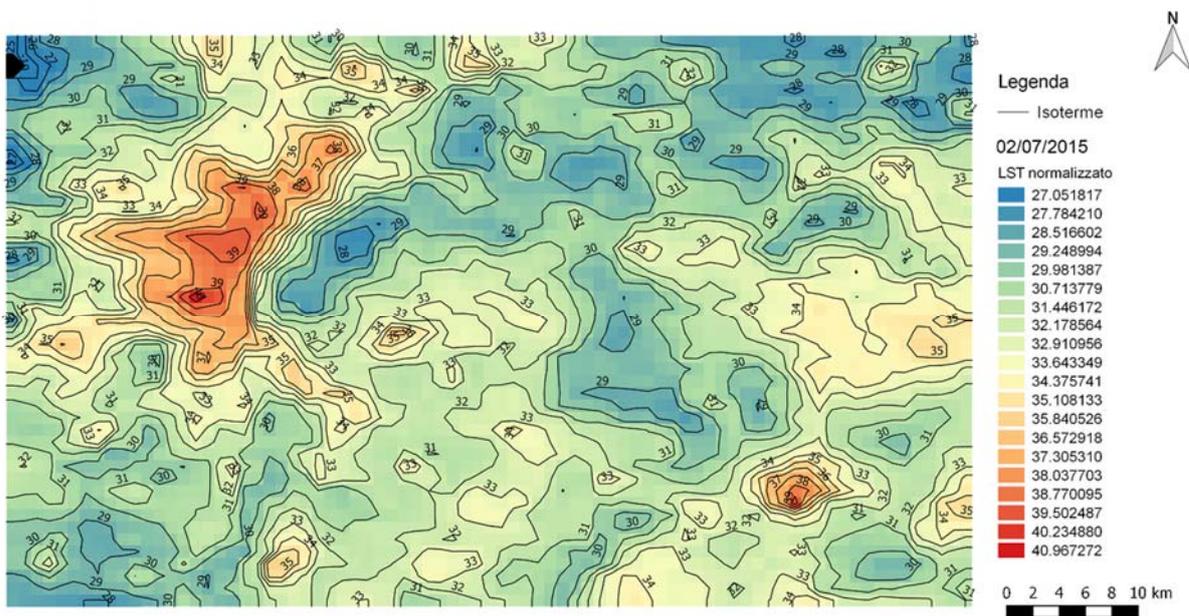


Allegato 70: Rappresentazione grafica dei valori termici del 30/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

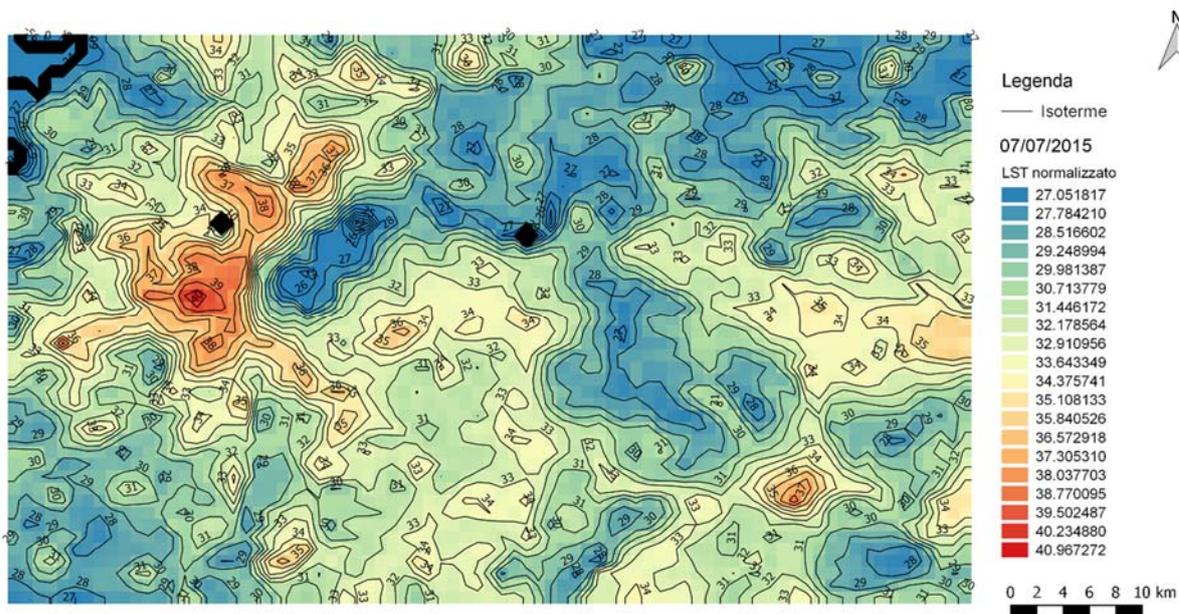


Allegato 71: Rappresentazione grafica dei valori termici del 31/07/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

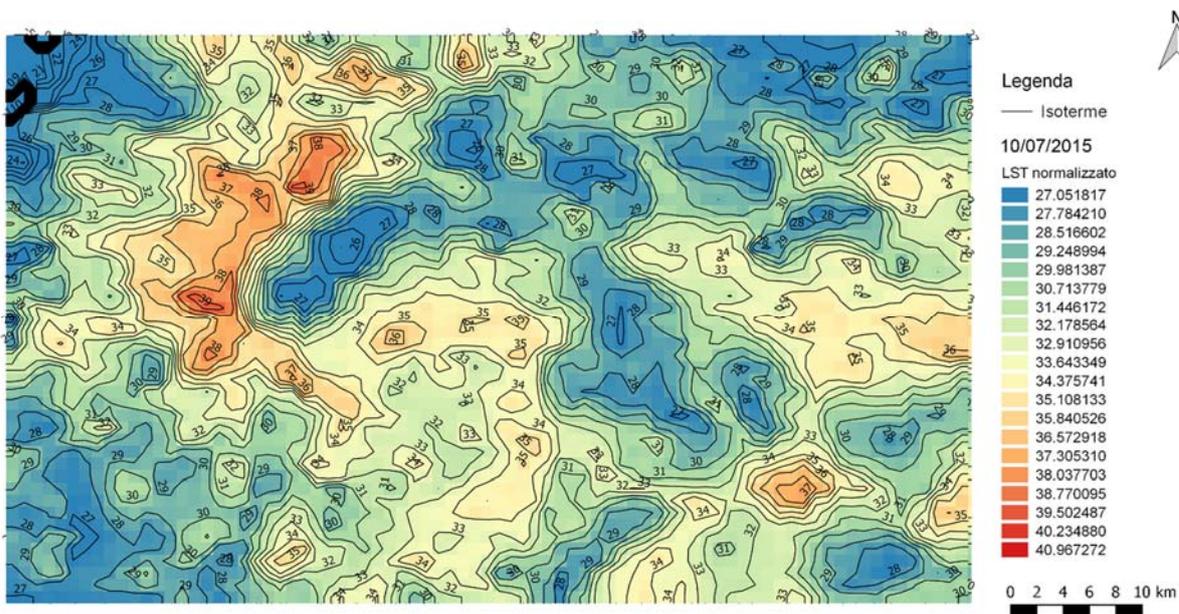
Luglio (07) 2015



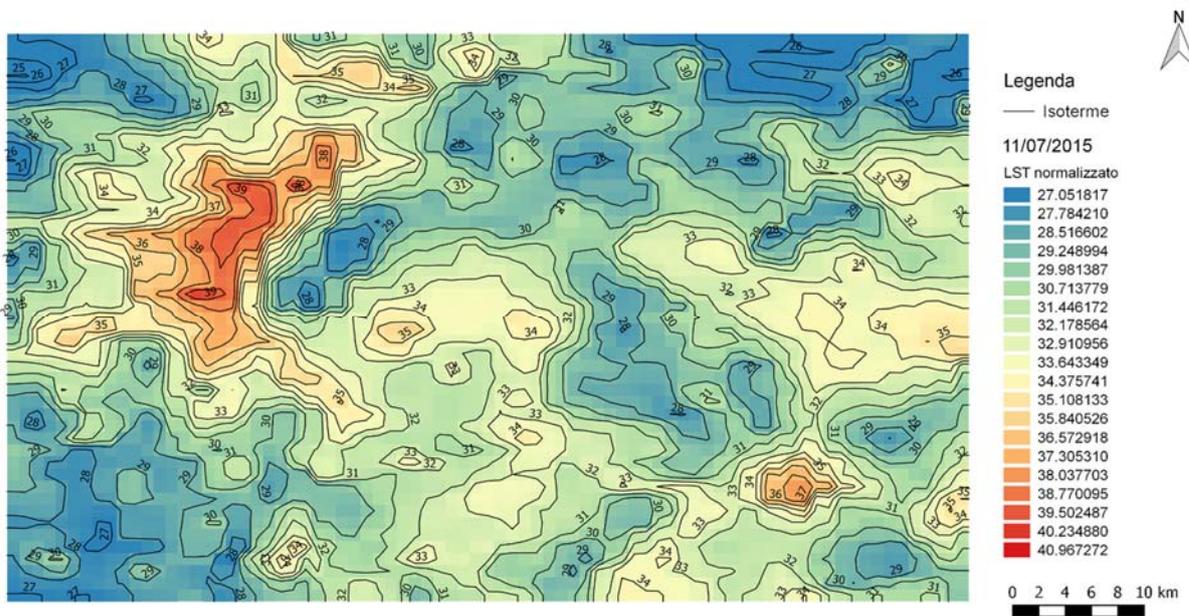
Allegato 72: Rappresentazione grafica dei valori termici del 02/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



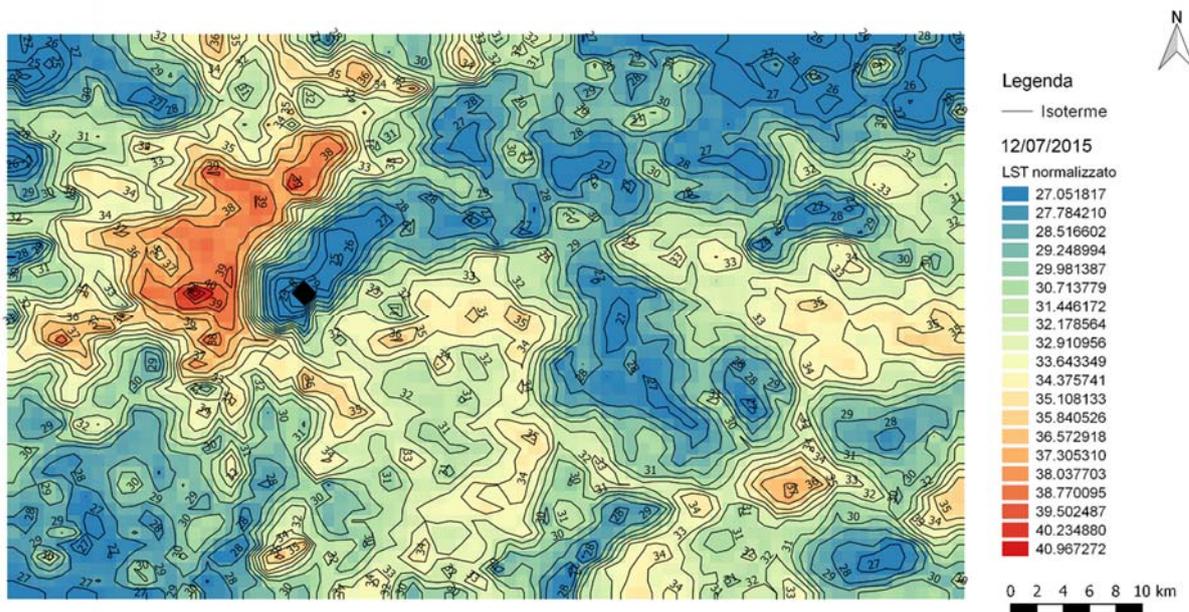
Allegato 73: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



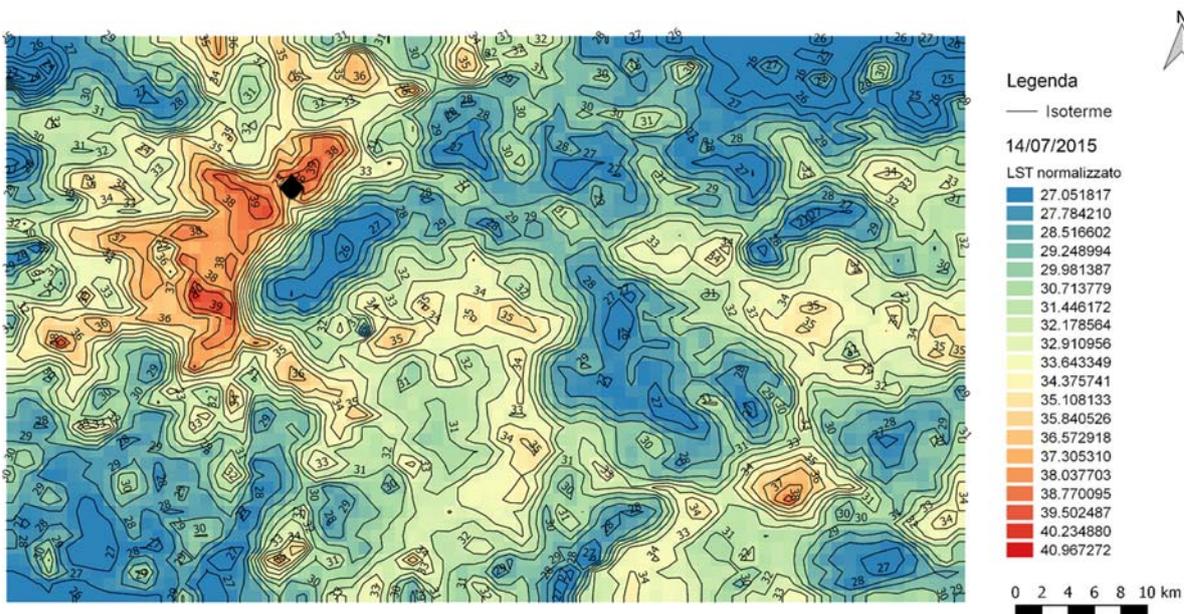
Allegato 74: Rappresentazione grafica dei valori termici del 10/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



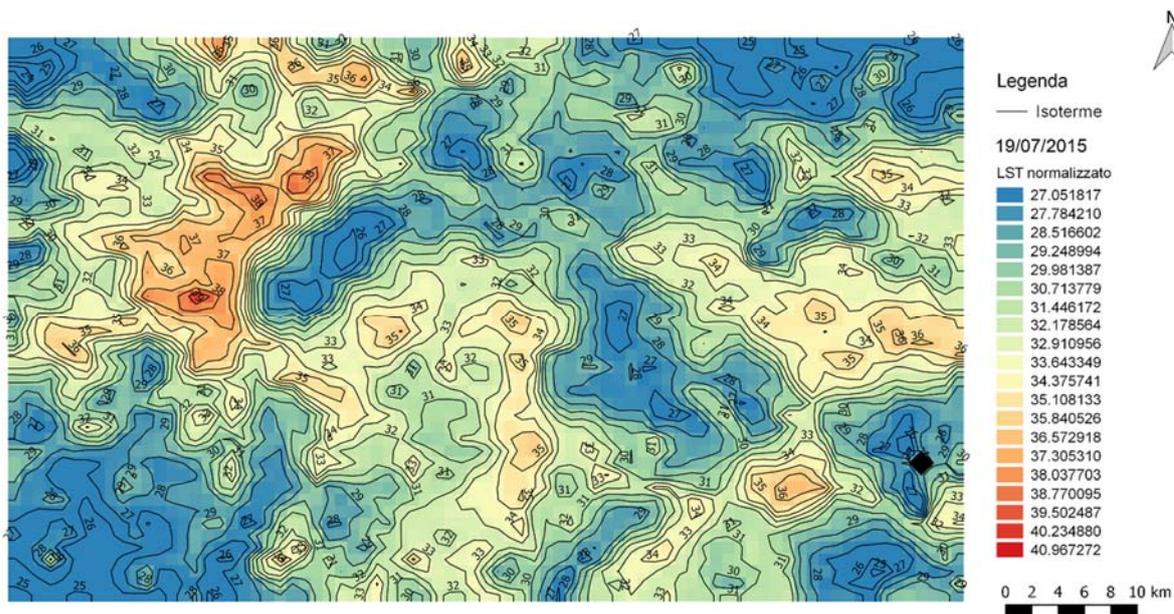
Allegato 75: Rappresentazione grafica dei valori termici del 11/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



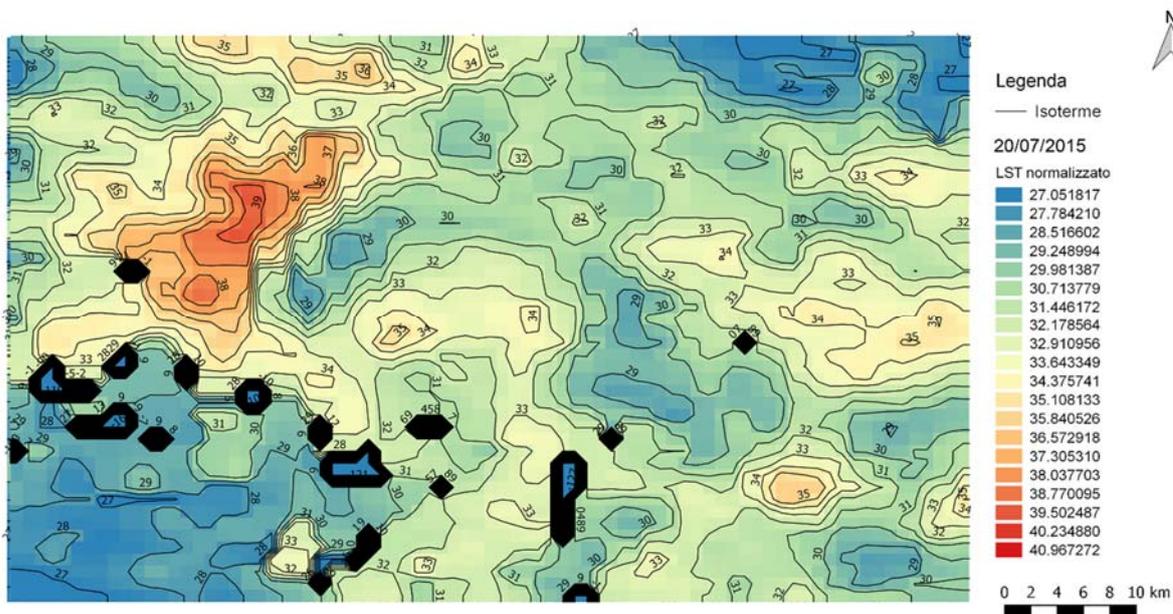
Allegato 76: Rappresentazione grafica dei valori termici del 12/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



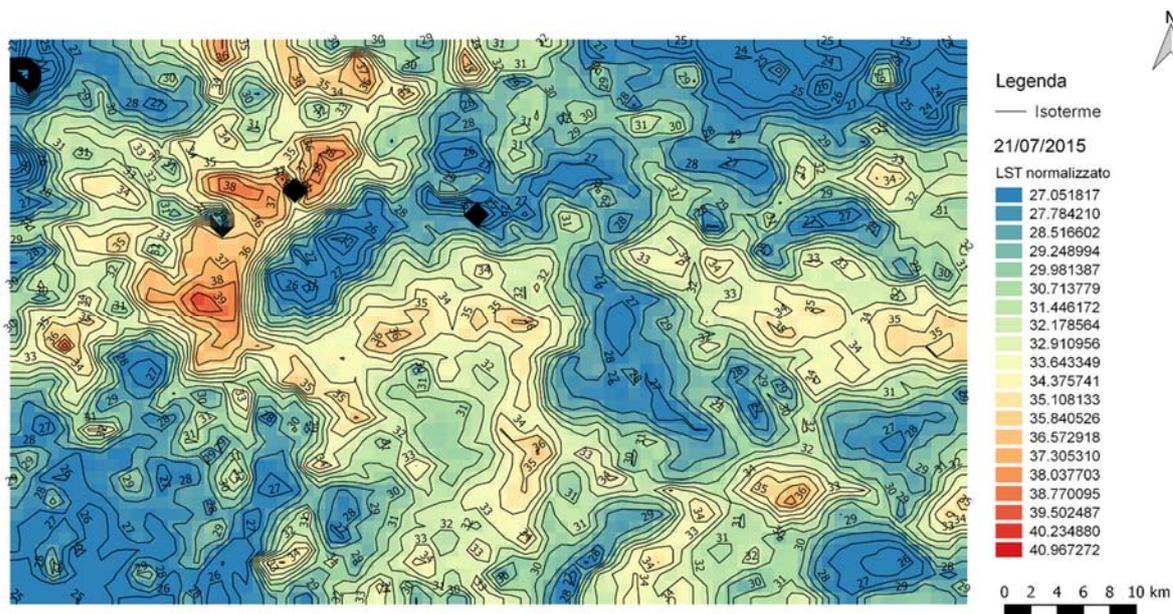
Allegato 77: Rappresentazione grafica dei valori termici del 14/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



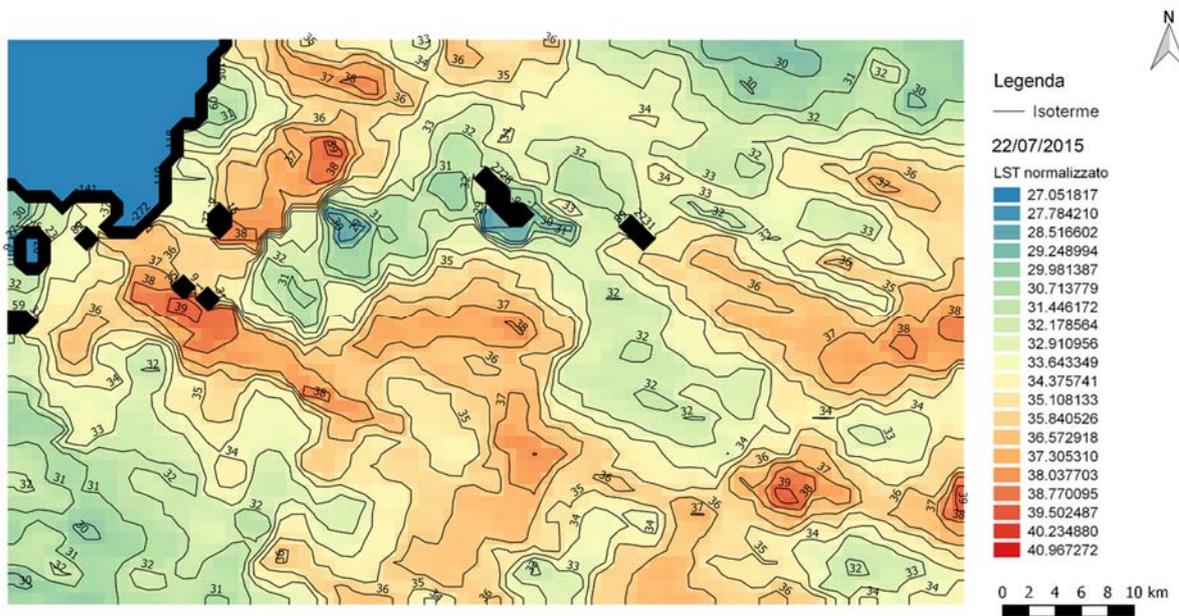
Allegato 78: Rappresentazione grafica dei valori termici del 19/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



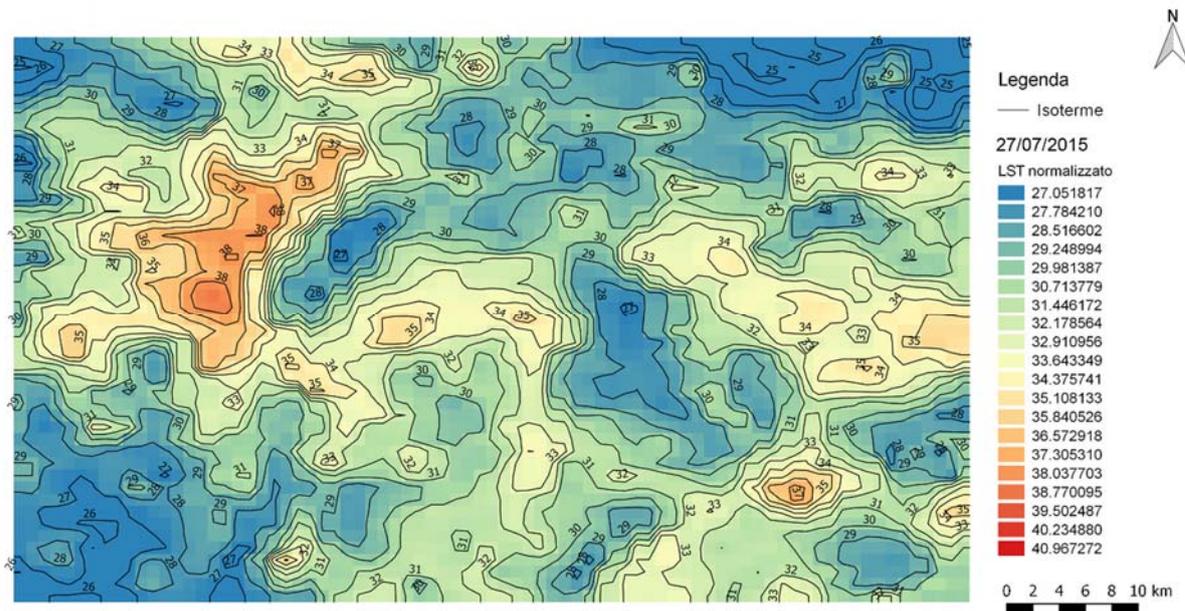
Allegato 79: Rappresentazione grafica dei valori termici del 20/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 80: Rappresentazione grafica dei valori termici del 21/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



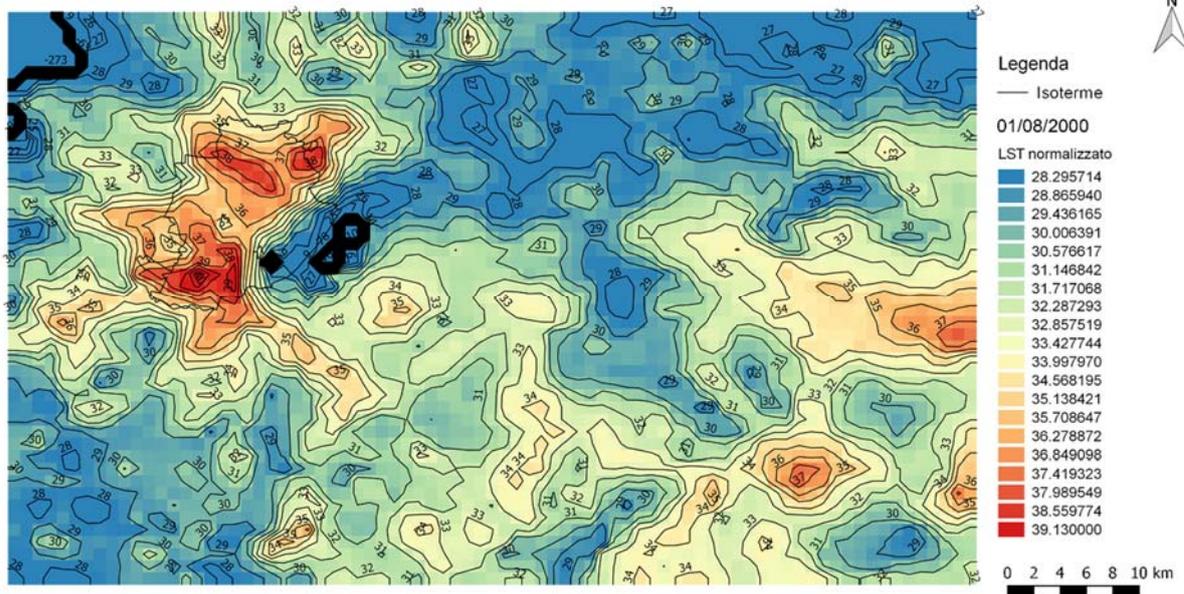
Allegato 81: Rappresentazione grafica dei valori termici del 22/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



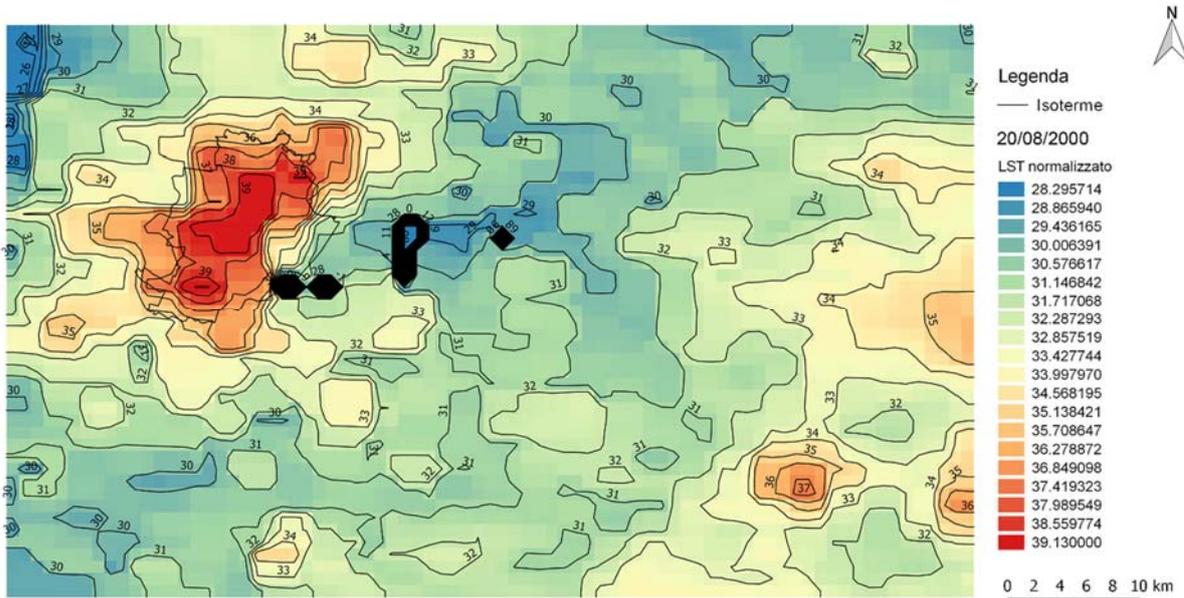
Allegato 82: Rappresentazione grafica dei valori termici del 27/07/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



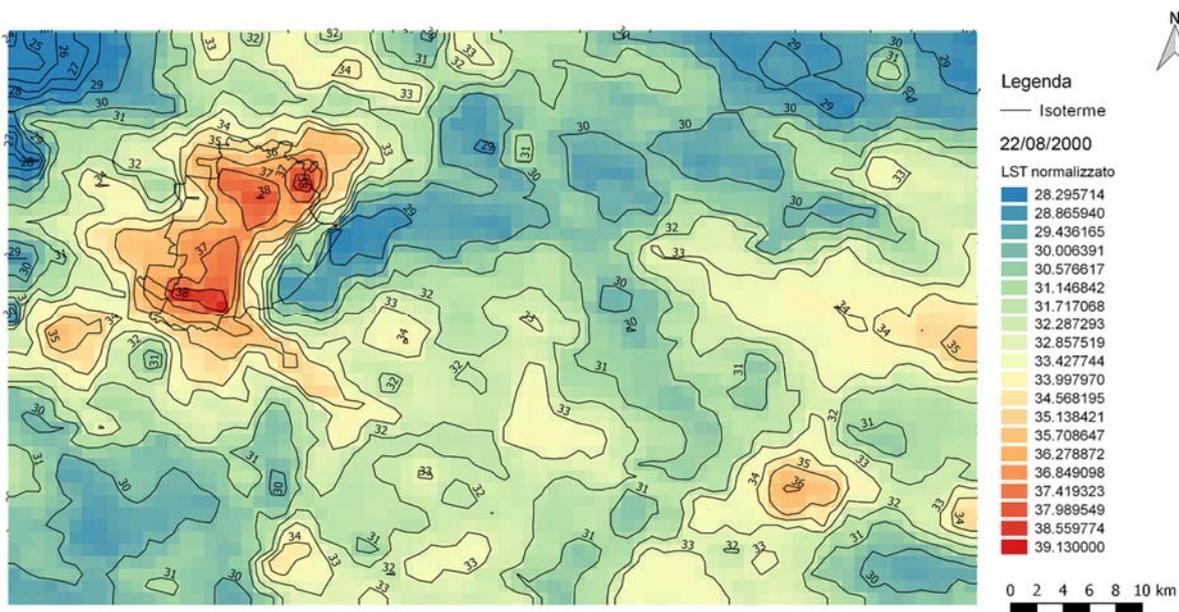
Agosto (08) 2000



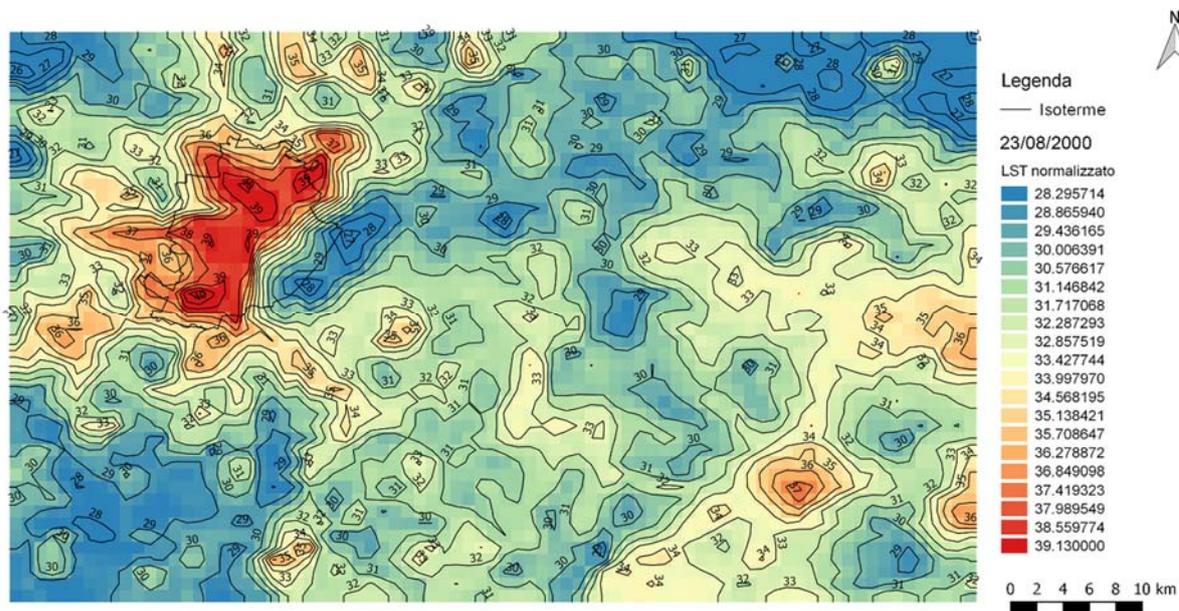
Allegato 83: Rappresentazione grafica dei valori termici del 01/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



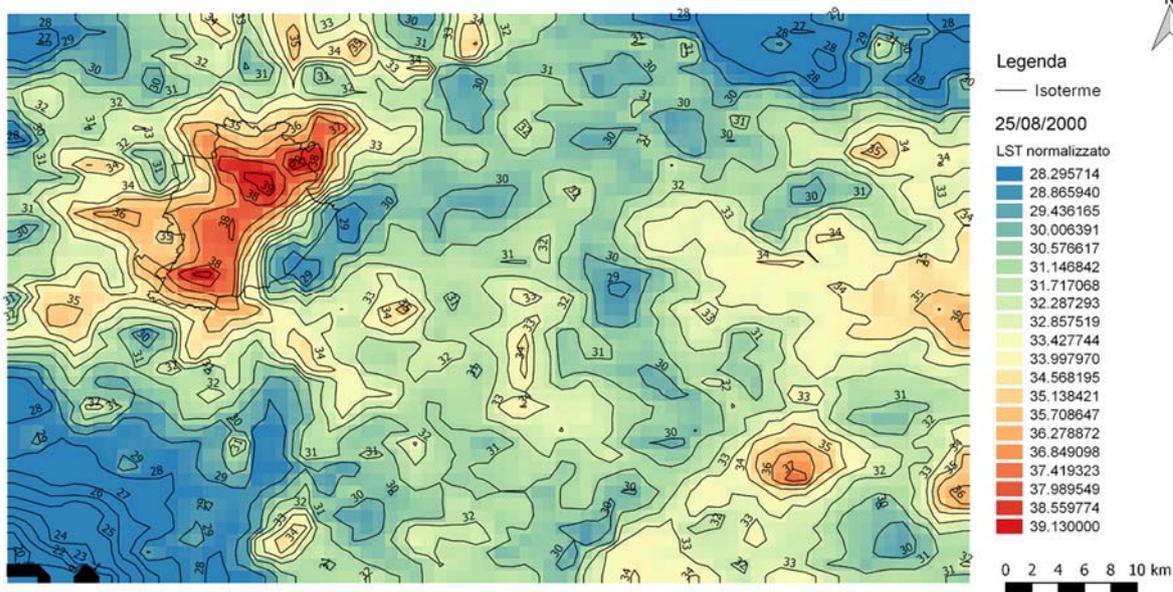
Allegato 84: Rappresentazione grafica dei valori termici del 20/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



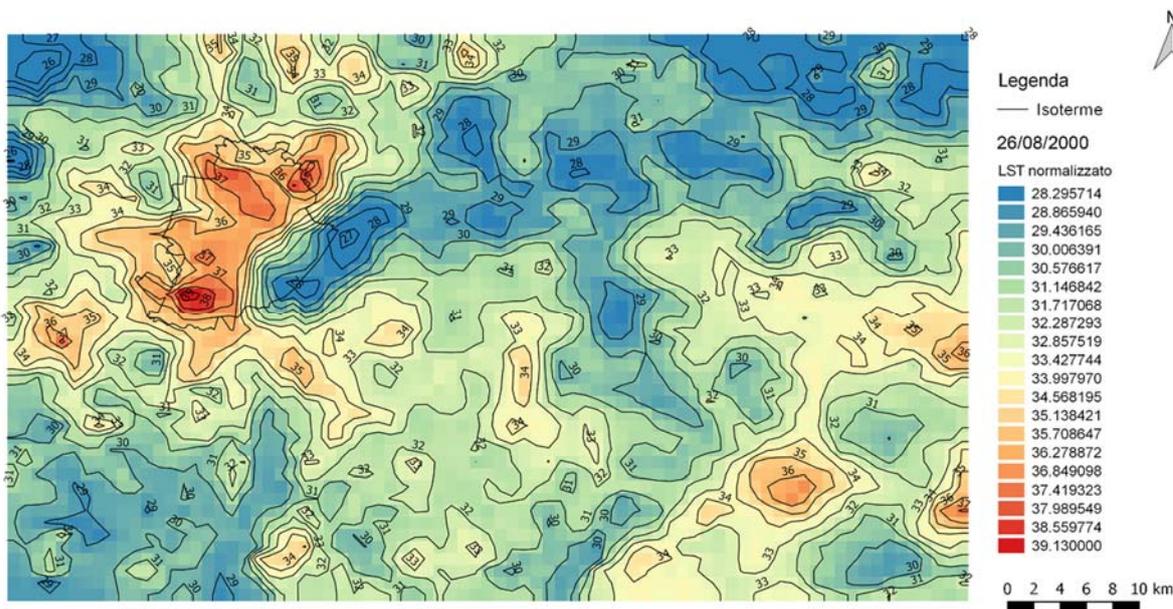
Allegato 85: Rappresentazione grafica dei valori termici del 22/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



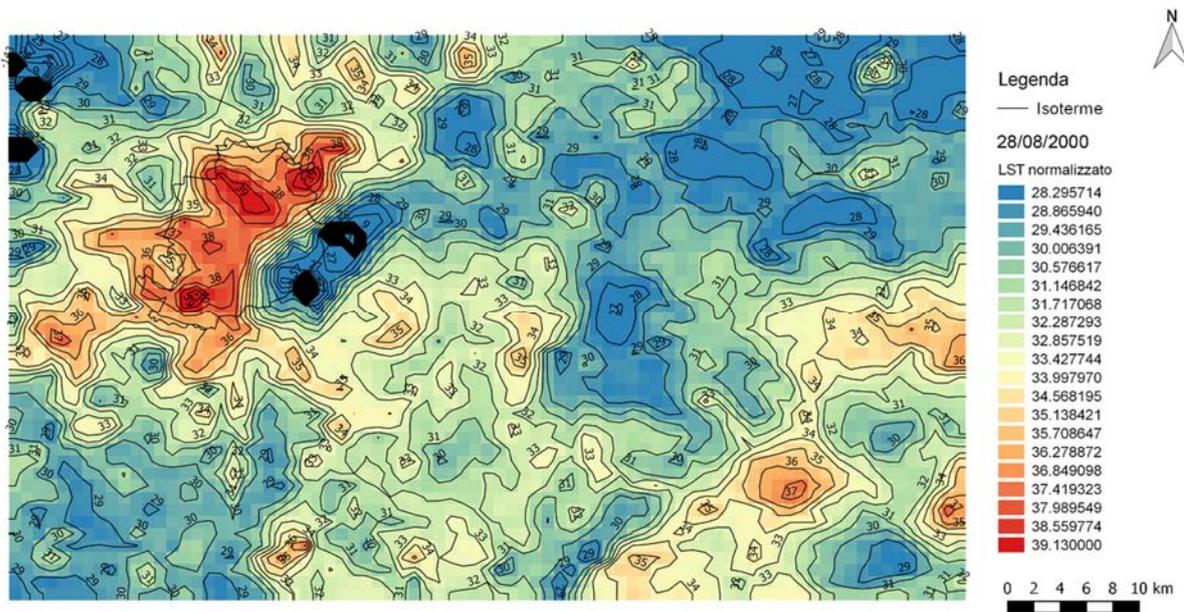
Allegato 86: Rappresentazione grafica dei valori termici del 23/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 87: Rappresentazione grafica dei valori termici del 25/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

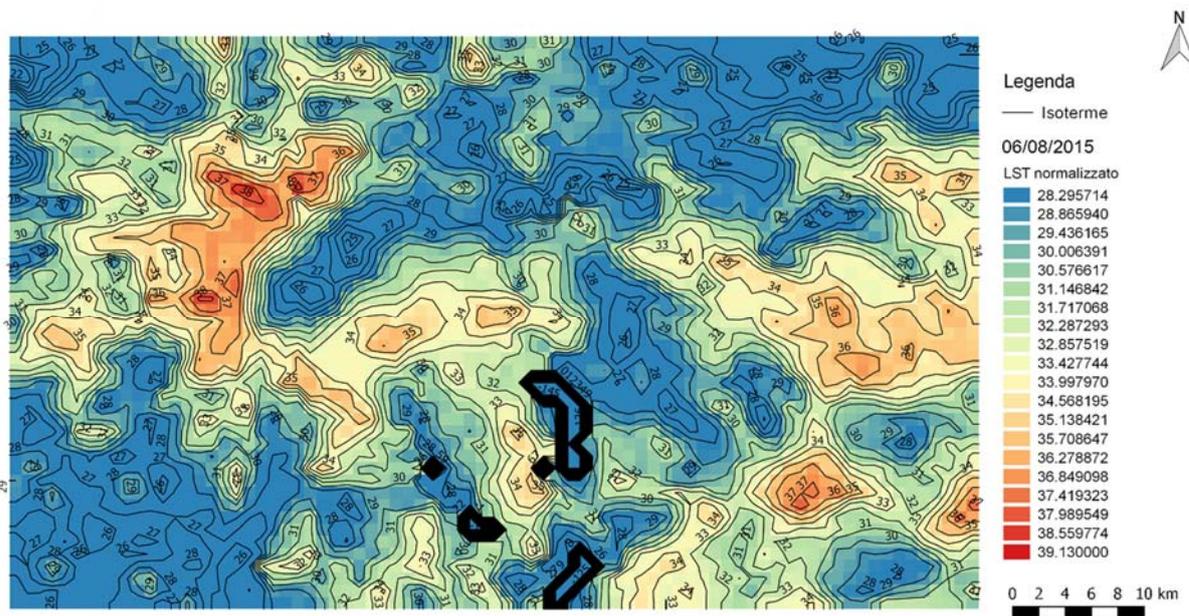


Allegato 88: Rappresentazione grafica dei valori termici del 26/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

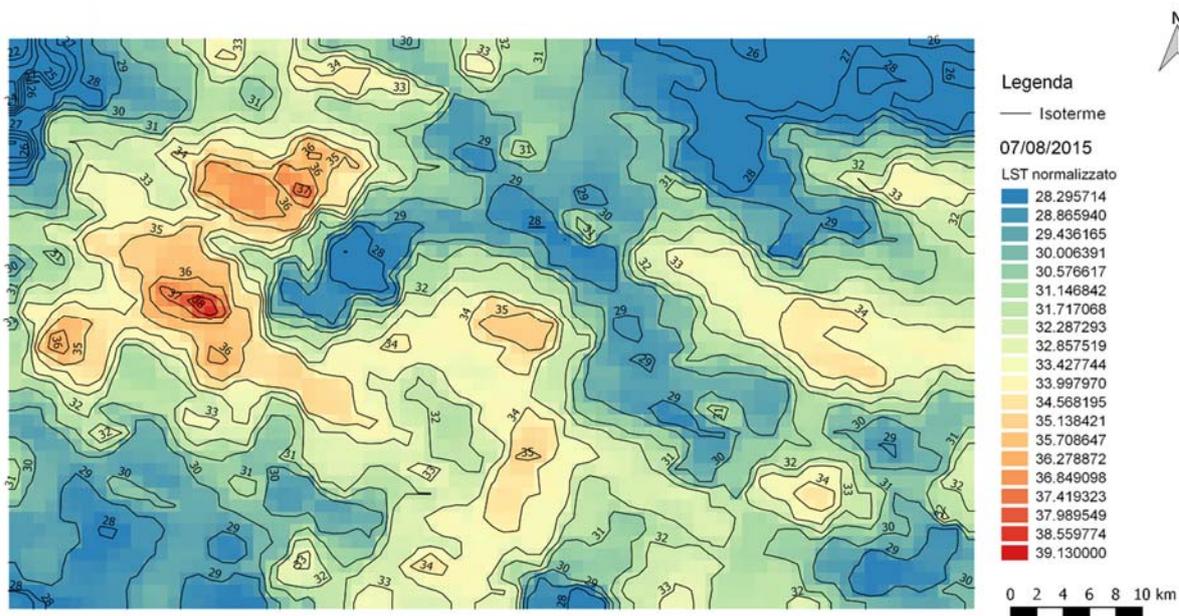


Allegato 89: Rappresentazione grafica dei valori termici del 28/08/2000, elaborato su Qgis [produzione propria].

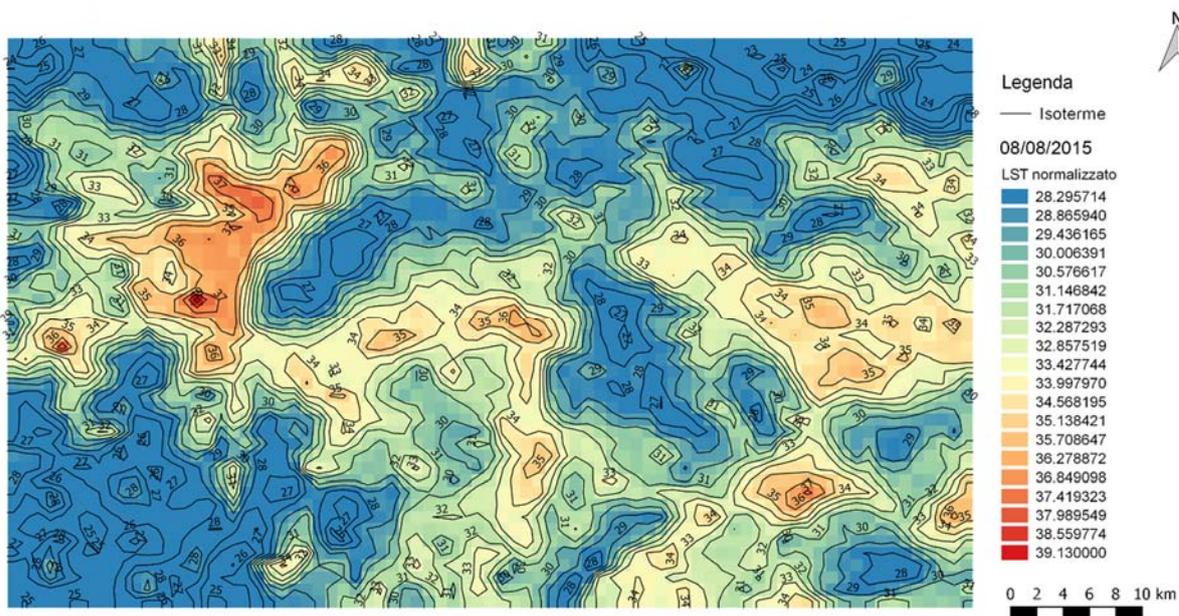
Agosto (08) 2015



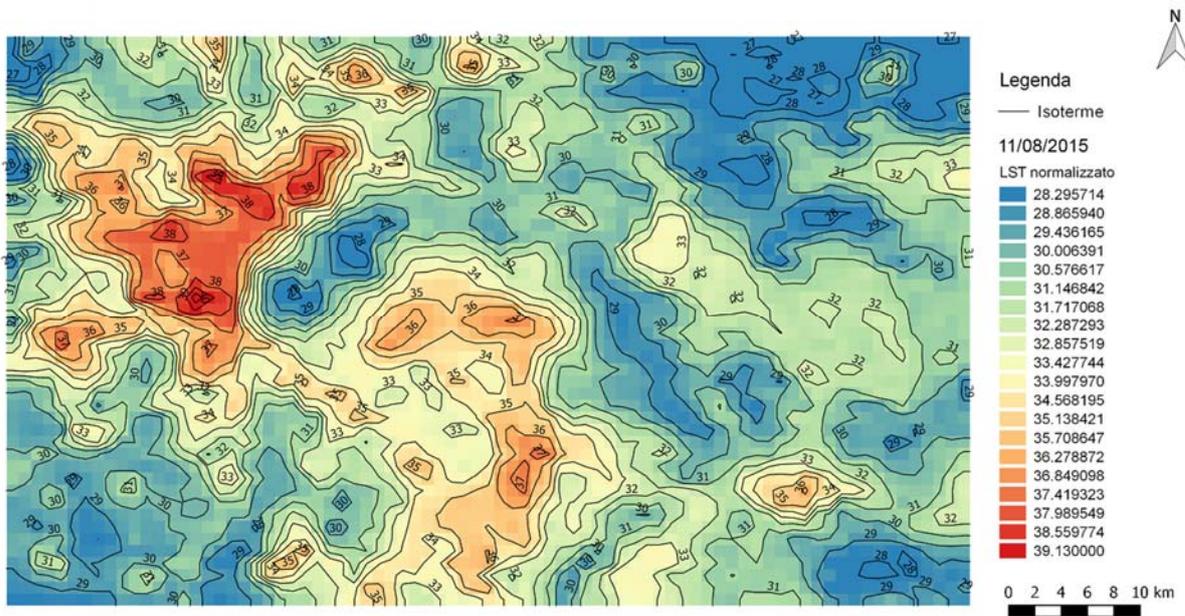
Allegato 90: Rappresentazione grafica dei valori termici del 06/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



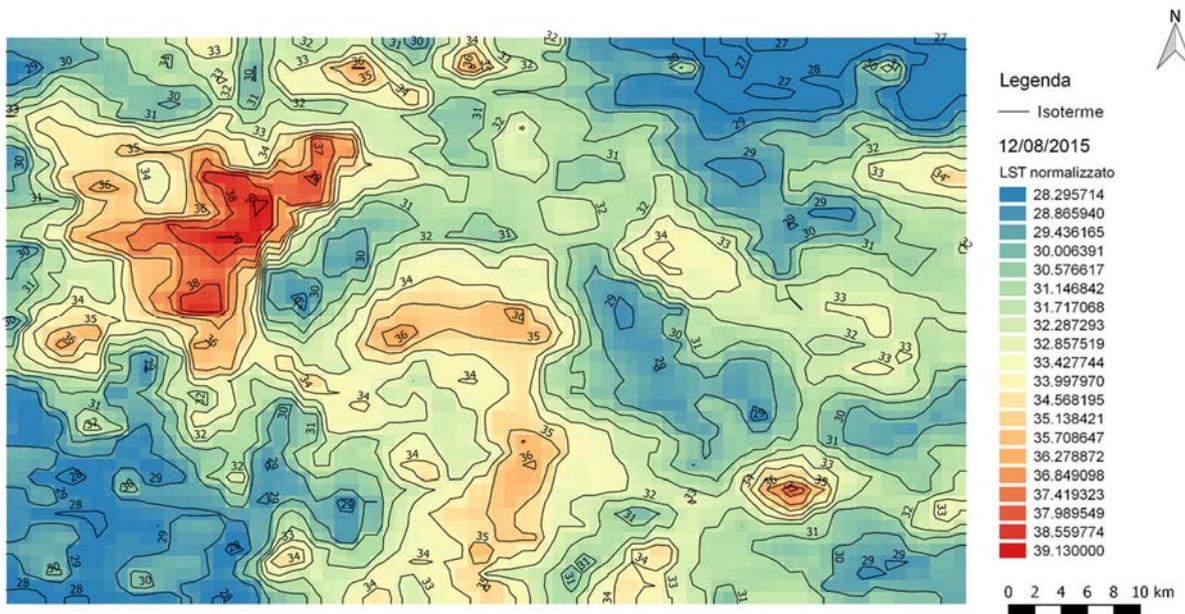
Allegato 91: Rappresentazione grafica dei valori termici del 07/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



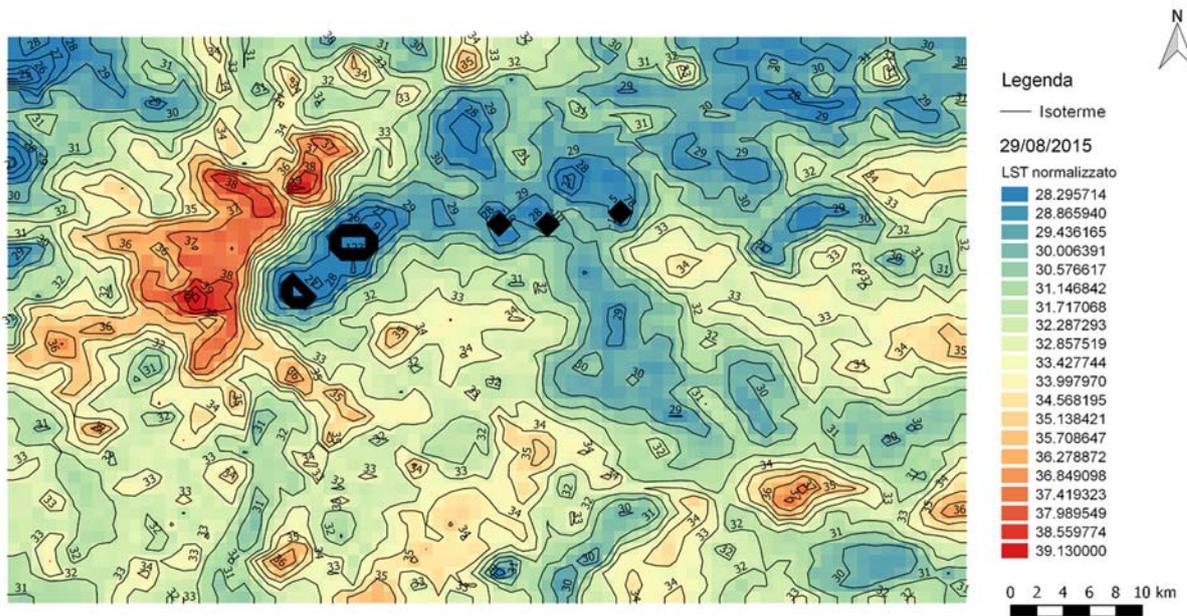
Allegato 92: Rappresentazione grafica dei valori termici del 08/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



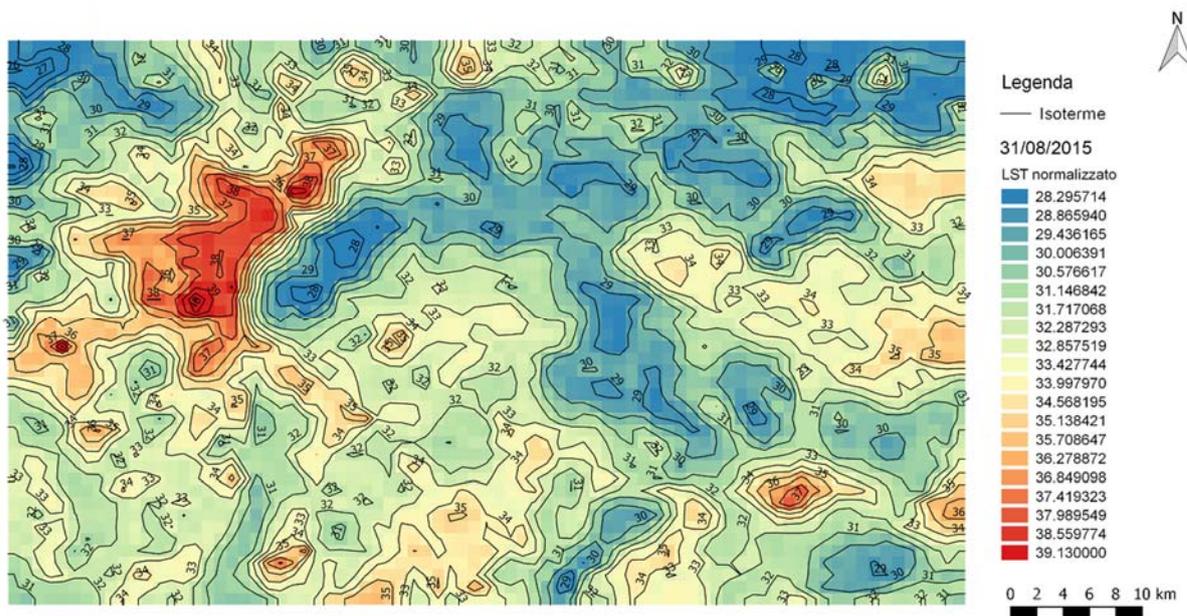
Allegato 93: Rappresentazione grafica dei valori termici del 11/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 94: Rappresentazione grafica dei valori termici del 12/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 95: Rappresentazione grafica dei valori termici del 29/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].



Allegato 96: Rappresentazione grafica dei valori termici del 31/08/2015, elaborato su Qgis [produzione propria].