



# PIANO STRUTTURALE

LR 65/2014 Norme per il governo del territorio

Articolo 19

## Comune di Orbetello:

Sindaco: Andrea Casamenti

Assessore urbanistica: Luca Teglia

Garante della comunicazione e ufficio urbanistica: Arch. Francesca Olivi

Responsabile del procedimento: segretario generale Giovanni La Porta

## Raggruppamento temporaneo:

**Arch. Silvia Viviani**

*progettista e capogruppo*

**Epsus - Musa srl**

**Cresme Ricerche spa**

Gruppo di lavoro:

Arch. Francesca Masi

Arch. Lucia Ninno

Elaborazioni grafiche e GIS:

Barbara Croci, Lorenzo Zoppi

Gruppo di lavoro:

Arch. Luigi Pingitore

Arch. Eleonora Giannini

Gruppo di lavoro:

Dott. Enrico Campanelli

Dott. Francesco Toso

## Apporti specialistici:

Pianificazione dello spazio marittimo e di adattamento climatico:

Prof. Arch. Francesco Musco con Prof. Dott. Denis Maragno, Dott. Niccolò Bassan,

Arch. Alberto Innocenti

Aspetti ecosistemici, ambientali e naturalistici, flora e fauna marina:

Dott. Maurizio De Pirro

Aspetti geologici, geomorfologici e idrologico idraulici:

Studi IdroGeo Service srl e Hydrogeo Ingegneria srl

Comune di Orbetello

Provincia di Grosseto

## Allegato 3

Studio climatico, energetico e ambientale

2020

# Indice

<b>CAPITOLO INTRODUTTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>Ondate di calore e impatti territoriali .....</b>	<b>4</b>
<b>Metodo e valutazioni Climatiche .....</b>	<b>5</b>
<b>Metodo e dati .....</b>	<b>17</b>
<b>Corine Land Cover .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPITOLO 1. ANALISI EFFETTUATE .....</b>	<b>22</b>
<b>Analisi della temperatura terrestre .....</b>	<b>22</b>
<b>Analisi della vegetazione .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPITOLO 2. RISULTATI.....</b>	<b>29</b>
<b>Analisi statistica e zonale delle variabili territoriali .....</b>	<b>29</b>
<b>La valutazione di vulnerabilità del sistema territoriale di Orbetello.....</b>	<b>34</b>

### **Introduzione**

Per impatto climatico si intende la minaccia (o le minacce) avvertite in uno specifico territorio, esito della relazione: clima-tessuto urbano-funzioni urbane.

La variabile climatica (*hazard*), cambia e si differenzia conseguentemente alla disposizione geografica del territorio, della sua altitudine e vicinanza col mare (Romero-Lankao et al, 2011). Queste tre variabili demarcano una lista di *hazard* climatici (IPCC, 2014) differenti per città.

Ogni *hazard* identificato può impattare con intensità e conseguenze differenti nelle diverse parti urbane.

L'impatto climatico urbano è esito delle variabili *hazard* e città (forma urbana, materiali, servizi ecosistemici presenti e società). Non a caso, ad esempio, durante le ondate di calore, la città non si scalda in modo uniforme, ma presenta aree più calde e aree più fresche.

Per adattare un territorio al cambiamento climatico quindi oltre ad identificare gli *hazard* e i potenziali impatti, è necessario saper indagare e comprendere quali aree risultano essere meno resilienti all'impatto, al fine di costruire e indirizzare le misure appropriate ad diminuirne la vulnerabilità.

L'adattamento di un'ambiente costruito avviene necessariamente attraverso "opportunità urbanistiche e di progetto" date dallo spazio urbano presente, dagli strumenti urbanistici e di governance in uso in quella città, dalle risorse economiche e dalla sensibilità della cittadinanza, sapientemente valutate e sfruttate al meglio; l'adattamento è di fatto un processo e non un risultato" (GIZ, WRI 2011).

Il termine adattamento in genere è inteso come "l'adeguamento dei sistemi naturali o umani in risposta a stimoli climatici in atto prevedibili o dei loro effetti, che modera il danno e coglie opportunità benefiche. (Ibiden).

Spesso non c'è chiara distinzione tra gestione urbana e adattamento del territorio al cambiamento climatico (IDS, 2008), molte attività del governo del territorio possono contenere, implicitamente o esplicitamente, una componente di adattamento.

L'adattamento del territorio consolidato è un processo complesso applicato come risposta alla vulnerabilità fisica di un'area urbana, considerando anche le economie, le infrastrutture e i flussi che lo caratterizzano. L'adattamento al CC è pertanto detto un approccio locale, orientato a risolvere un problema specifico, cogliendo i significati del territorio.

Le strategie di adattamento, orientate a modificare il territorio costruito, dovranno anche essere modulate col fine di sfruttare le opportunità che dal cambiamento possono emergere (intese come opportunità di progetto, espresse in riqualificazioni, riorganizzazione degli spazi e delle funzioni, implementazione dei servizi ecosistemici urbani etc) per rimettere ordine ai fallimenti delle progettazioni passate.

Tutto questo conduce a considerare l'adattamento degli spazi urbani un processo di trasformazione medio lungo (10-15 anni) integrato alle normali attività del governo del territorio.

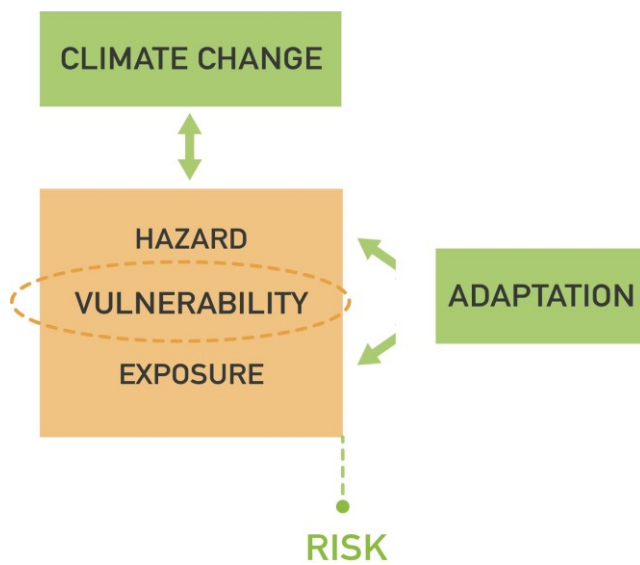


Figura 1. Lo schema illustra i fattori che compongono la vulnerabilità della metodologia proposta dall'IPCC nel 2004.

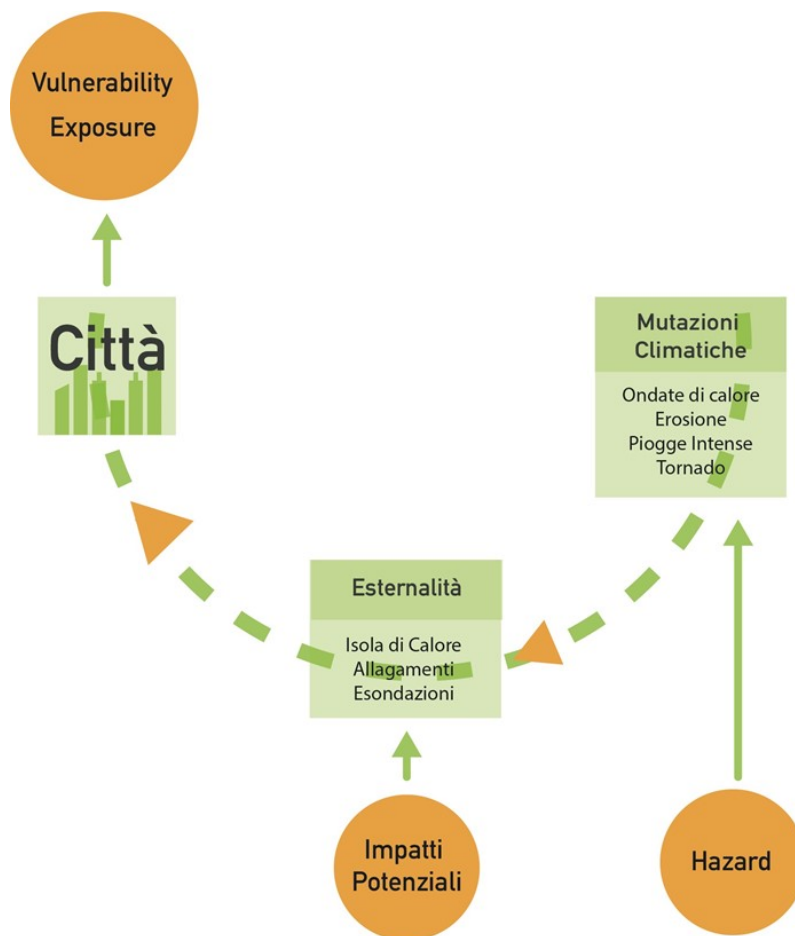


Figura 2. Lo schema mette in relazione le definizioni della metodologia dell'IPCC 2014 con gli aspetti climatici da considerare nel processo di adattamento.

Il sistema di lavoro è pensato a partire dalla considerazione che un processo di adattamento urbano non deve aggravare le già numerose mansioni in carico ai governi locali, ma deve integrarsi nei processi già avviati e implementarsi mediante la strumentazione urbanistica operativa vigente.

Il fine sostanziale di un processo di adattamento locale è diminuire la vulnerabilità (in relazione al rischio) di un ambito territoriale rispetto ad un impatto atteso, aumentandone di fatto la resilienza. Il termine resilienza è accostato di frequente al concetto di cambiamento climatico come riferimento alla capacità di un territorio di subire danni (o recuperare) rispetto ad un evento atteso (UNISDR 2013).

La resilienza, riferita alle pratiche del clima, si orienta a misurare i disturbi causati dal cambiamento climatico e la capacità di ripresa del territorio in seguito ad un eventuale shock climatico (OECD 2013). Di fatto l'obiettivo un piano di adattamento è aumentare la resilienza del sistema territorio, adattando le aree maggiormente vulnerabili.

### **Ondate di calore e impatti territoriali**

In seguito ai processi di espansione e densificazione che hanno coinvolto le città nel corso della storia, ci si trova oggi a dover affrontare un aumento della temperatura urbana, registrato e confrontato rispetto all'area rurale direttamente contigua, causato dalla densa artificializzazione del suolo. Il fenomeno è chiamato isola di calore urbana. Per *Urban Heat Island* (UHI), s'intende quel fenomeno fisico che si sviluppa negli agglomerati urbani in cui viene registrato un microclima più caldo all'interno delle aree urbane rispetto alle zone rurali circostanti. La temperatura misurata all'interno delle isole di calore urbane può essere fino a 3 – 5 °C più elevata rispetto alle aree esterne alla città (Oke, 1982).

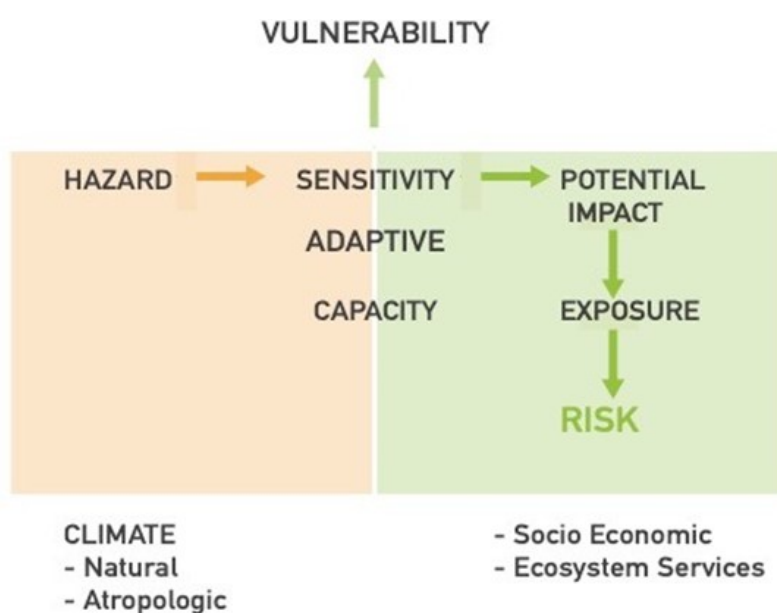


Figura 3. Lo schema rappresenta il processo di lavoro per identificare la vulnerabilità

Il microclima urbano è dato dall'interazione dei fattori climatico geografici locali con la città, la dimensione urbana, la sua morfologia e le attività umane che in essa si sviluppano, modificando così i naturali andamenti climatici della zona geografica di riferimento (Oke, 2006). Il tessuto urbano, costituito prevalentemente da edifici e superfici pavimentate, come strade e piazze, assorbe calore ed energia solare in misura maggiore rispetto alle superfici naturali presenti nelle aree rurali circostanti (Oke, 1982), provocando un surriscaldamento diurno e un insufficiente raffreddamento notturno. Il calore generatosi "localmente" fa sì che gli effetti delle ondate di calore (esito del CC) si manifestino con maggior intensità nelle città caratterizzate da un acuto fenomeno di isola di calore (Papadopoulos, 2001), causando conseguentemente molteplici problemi. Il fenomeno UHI provoca nelle città una peggior qualità della vita, riduce la dispersione dell'inquinamento atmosferico e idrico, aumenta i costi energetici per il raffreddamento degli edifici, riduce la biodiversità urbana e funge da fattore di amplificazione delle ondate di calore generate dal Global Warming e non per ultimo, aumenta i rischi di salute per la popolazione (Ibid.).

Le conseguenze del fenomeno UHI appena descritte e in generale le esternalità negative legate al cambiamento

climatico impongono la necessità di orientare all'adattamento le strategie di sviluppo e gestione urbana, per poter da un lato, indirizzare le future trasformazioni e dall'altro modificare il tessuto urbano costruito (Picketts, Déry & Curry, 2013).

Le misure di contenimento del fenomeno isola di calore dovranno essere orientate sulla logica di priorità sugli ambiti di intervento. L'adattamento della città, ai fini di aumentare la resilienza alle future ondate di calore, spesso si produce mediante un approccio ecosistemico capace di considerare, da una parte, i processi di trasformazione indotti dall'uomo e dall'altra, il reintegro e il ripristino dei sistemi naturali (Gunderson & Holling, 2002).

Le informazioni indispensabili per valutare la resilienza di un'area urbana alle ondate di calore sono (Mahdavi, 2012):

- Superficie aree pavimentate;
- Superficie aree permeabili;
- Superficie edificata;
- Sky View Factor;
- Compattezza urbana;
- Incidenza solare;
- Riflettanza/albedo

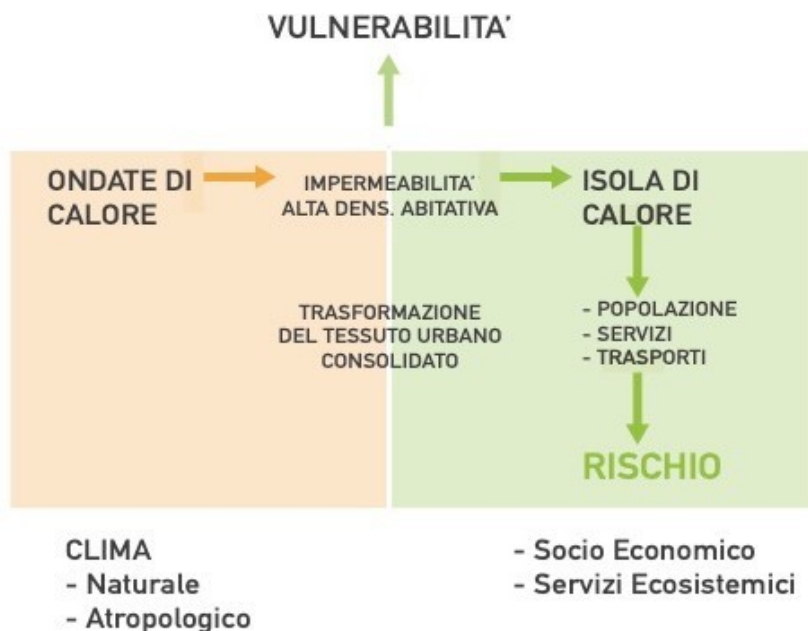


Figura 4. Lo schema rappresenta il processo di lavoro per identificare la vulnerabilità. In questo caso la logica indaga sull'hazard "ondate di calore".

### **Metodo e valutazioni Climatiche**

L'obiettivo del lavoro è comprendere l'evoluzione del rapporto tra ondate di calore, temperatura e vegetazione.

L'analisi mira ad individuare le aree territoriali con maggior accumulo di calore durante le ondate di calore climatiche. Per fare ciò si è inizialmente proceduto con la valutazione delle temperature medie per i mesi di giugno, luglio ed agosto per gli anni 1990, 2000, 2018, 2019. Definite le temperature medie per ciascun anno si sono conteggiati i numero di giorni che hanno superato la media calcolata.

Si sono potute così individuare le date dalle in cui calcolare il LST (Land Surface Temperature) mediante remote sensing analysis su dati satellitari Copernicus e Sentinel.

1990 - Giugno

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/06/90	15,6	12	19
02/06/90	15,2	13	17
03/06/90	15,4	13	20
04/06/90	14,1	13	15
05/06/90	14	0	0
11/06/90	15,8	12	19
12/06/90	14,4	12	17
13/06/90	15,3	12	19
14/06/90	16,8	14	20
15/06/90	14,6	13	17
16/06/90	15,8	13	20
17/06/90	16,8	15	20
18/06/90	16,8	15	19
19/06/90	18,8	16	24
20/06/90	19,5	18	22
21/06/90	21,1	18	24
22/06/90	18,8	17	23
23/06/90	19,1	17	24
24/06/90	21,2	16	27
25/06/90	23,5	20	27
26/06/90	24,2	21	28
27/06/90	23,3	21	27
28/06/90	22,3	21	25
29/06/90	22,7	21	26
30/06/90	22,6	20	26

Tabella 1. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di giugno 1990 (Fonte Meteo.it).

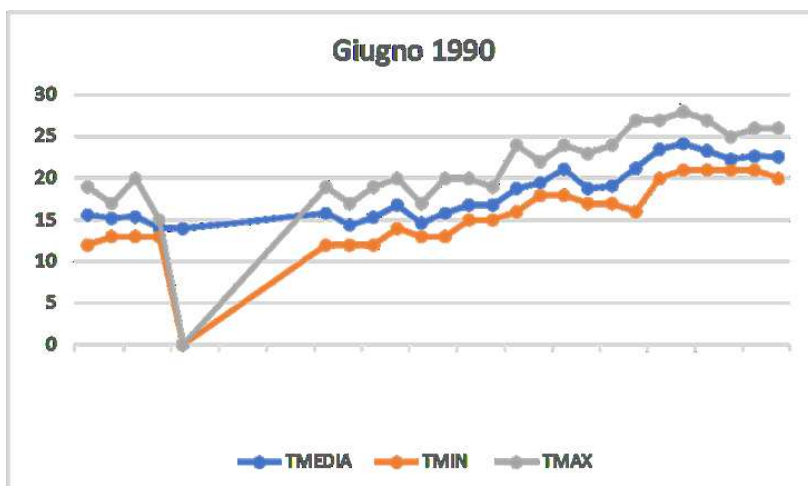


Figura 5. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di giugno 1990).

1990 – Luglio

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/07/90	20,3	19	22
02/07/90	20,7	18	26
03/07/90	19,9	18	25
04/07/90	18,8	17	23
05/07/90	19,7	17	23
06/07/90	19,1	17	23
07/07/90	20,7	18	24
08/07/90	22,2	19	26
09/07/90	24,9	22	30
10/07/90	22,6	19	25
11/07/90	17,4	13	23
12/07/90	19,7	16	25
13/07/90	22,3	20	25
14/07/90	22,6	21	26
15/07/90	23,9	21	28
16/07/90	24,9	22	29
17/07/90	25,4	22	30
18/07/90	22	18	26
19/07/90	21,7	16	32
20/07/90	22,8	18	27
21/07/90	24,6	23	28
22/07/90	26,1	23	30
23/07/90	26,7	24	30
24/07/90	25,1	23	28
25/07/90	23,8	21	28
26/07/90	24,6	22	28
27/07/90	23,9	22	26
28/07/90	25,7	24	29
29/07/90	25	22	28
30/07/90	21,9	20	24
31/07/90	23,8	21	28

Tabella 2. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di luglio 1990 (Fonte Meteo.it).

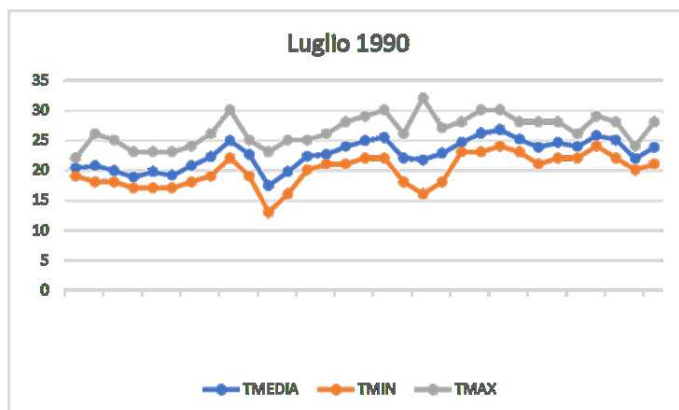


Figura 6. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di luglio 1990.



1990 -Agosto

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/08/90	22,8	19	27
02/08/90	25,4	22	31
03/08/90	26,4	24	30
04/08/90	26,1	23	31
05/08/90	25,2	22	29
06/08/90	23,6	22	26
07/08/90	23,6	22	28
08/08/90	22,3	20	25
09/08/90	22,1	19	27
10/08/90	22,1	18	28
11/08/90	23	21	27
12/08/90	23,6	21	29
13/08/90	23,4	22	27
14/08/90	21,1	19	23
15/08/90	20,4	19	22
16/08/90	20,9	19	24
17/08/90	21,9	19	25
18/08/90	21,4	19	25
19/08/90	22,6	20	26
20/08/90	23,2	21	27
21/08/90	21,1	19	31
22/08/90	21,8	18	28
23/08/90	20,2	16	27
24/08/90	20,8	17	25
25/08/90	21,9	20	25
26/08/90	19,8	17	24
27/08/90	19,6	19	22
28/08/90	21,8	19	26
29/08/90	22,1	20	26
30/08/90	22,2	20	25
31/08/90	20,4	19	23

Tabella 3. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di agosto 1990. (Fonte Meteo.it).

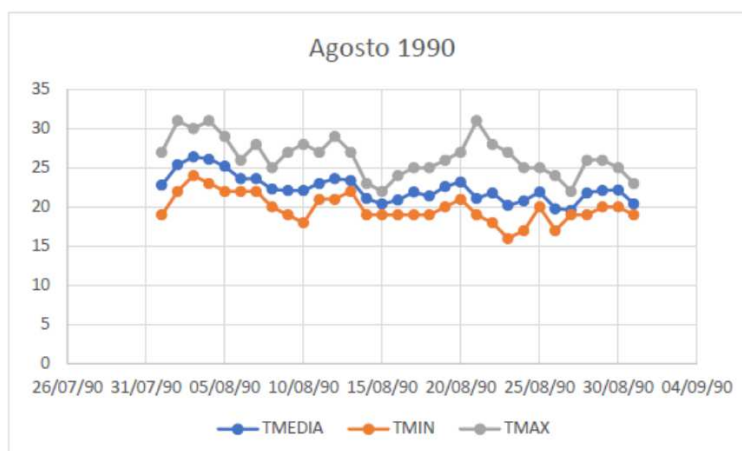


Figura 7. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di agosto 1990.

2000 – Giugno

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/06/00	19,2	14,6	25
02/06/00	22,3	17	26
03/06/00	23	18,2	29,2
04/06/00	23,4	19	28
05/06/00	21,3	17	27
06/06/00	17,9	17	20
07/06/00	17,6	14	22
08/06/00	20,7	17,4	28,2
09/06/00	23,3	19	30
10/06/00	21,3	17,8	26
11/06/00	17,4	17	19
12/06/00	18,7	15	25,2
13/06/00	18,6	17	23
14/06/00	21,6	16,2	26,8
15/06/00	20,6	18	26,2
16/06/00	19,3	16,8	23
17/06/00	21,9	17	27,8
18/06/00	18,1	15	24,2
19/06/00	21,8	17	28,6
20/06/00	22,6	19	27
21/06/00	22,1	18,4	28,8
22/06/00	21,3	17,6	26,6
23/06/00	20,5	17,8	25,2
24/06/00	19,2	15	24,8
25/06/00	19,3	17	24
26/06/00	21,2	17	26
27/06/00	22,1	18	28,4
28/06/00	19,6	17	25
29/06/00	20,5	18	24
30/06/00	21,9	18	28

Tabella 4. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di giugno 2000 (Fonte Meteo.it).

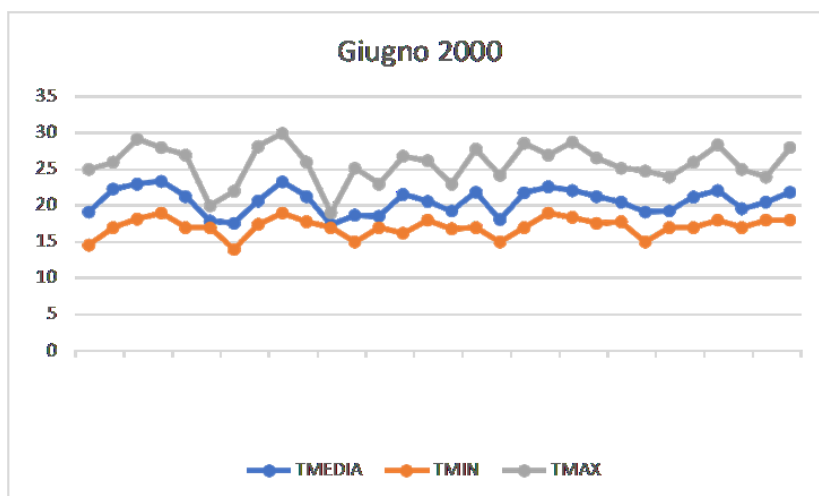


Figura 8. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di giugno 2000.

2000 – Luglio

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/07/00	19,2	17	22
02/07/00	20,3	17	25,4
03/07/00	21,9	19,2	25,2
04/07/00	22,7	21	28
05/07/00	23,6	19,4	29
06/07/00	26,1	20,6	32
07/07/00	24,6	21	28,8
08/07/00	24,3	19	29,8
09/07/00	21,1	17,8	27
10/07/00	20,1	17,6	26,8
11/07/00	19,4	16	25,2
12/07/00	15,5	12	23,8
13/07/00	17,6	11,4	23,4
14/07/00	16,4	14	21,8
15/07/00	18,2	15	23,6
16/07/00	17,4	13	23,2
17/07/00	19,9	14,8	26
18/07/00	19,8	15,8	25,4
19/07/00	21,4	17,4	28,2
20/07/00	20,8	17,6	25,8
21/07/00	18,8	17,4	25
22/07/00	22,9	19	29,6
23/07/00	21,1	17,6	25,2
24/07/00	18,9	18	21
25/07/00	20,1	18	24,6
26/07/00			
27/07/00	21,6	18	28,6
28/07/00	23,7	20	30
29/07/00	21,9	18,2	28
30/07/00	21,9	19	28,8
31/07/00	22,3	19	29,8

Tabella 5. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di luglio 2000 (Fonte Meteo.it).

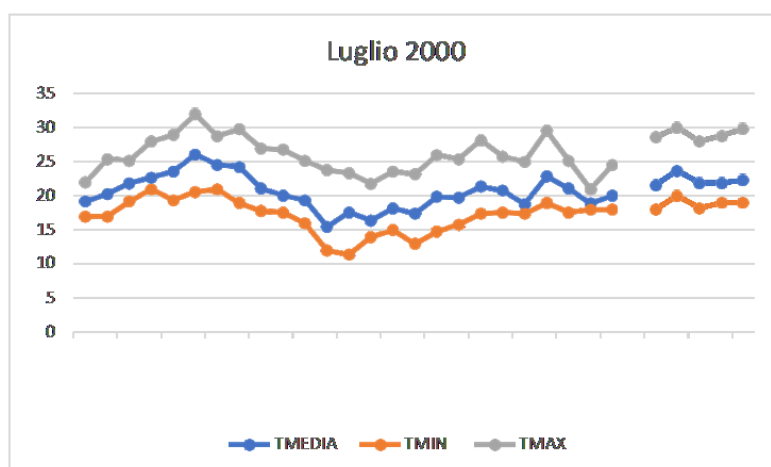


Figura 9. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di luglio 2000.

2000 – Agosto

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/08/00			
02/08/00	23,7	20,6	30,2
03/08/00	22,8	19	27,4
04/08/00	20,7	18	26,8
05/08/00	19	16	24,4
06/08/00	19,3	15	24,6
07/08/00	19,5	16	25,4
08/08/00	21,4	17,6	28,4
09/08/00	22,4	19	29
10/08/00	21,8	19	27,8
11/08/00	22,6	19,8	28
12/08/00	24,3	19,6	30
13/08/00	23,7	19,2	30,2
14/08/00	24,7	21,4	30
15/08/00	25,5	21,6	31,2
16/08/00	27,2	24	34,6
17/08/00	26,9	24	32
18/08/00	28	23,4	34,4
19/08/00	28	24	34
20/08/00	27,6	23	34,4
21/08/00	27,8	24	35
22/08/00	27,6	23,8	34,4
23/08/00	28,5	24,6	35
24/08/00	27,2	24	31,6
25/08/00	27,6	24,2	31
26/08/00	29,4	25	34,4
27/08/00	25,1	22	30
28/08/00	22,5	20	27
29/08/00	23,6	19	30,2
30/08/00	22,3	19	30
31/08/00	19,6	18	21,6

Tabella 6. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di agosto 2000 (Fonte Meteo.it).

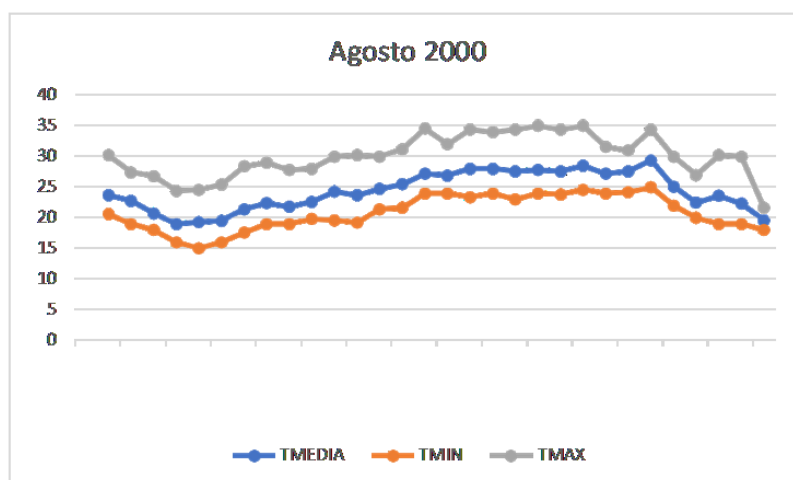


Figura 10. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di agosto 2000.

2016 – Giugno

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/06/16	18	15	21
02/06/16	19	14	23
03/06/16	17	14	22
04/06/16	18	14	21
05/06/16	20	15	24
06/06/16	21	15	27
07/06/16	21	16	25
08/06/16	23	18	27
09/06/16	16	15	18
10/06/16	19	15	22
11/06/16	18	16	19
12/06/16	19	18	23
13/06/16	21	15	25
14/06/16	21	17	26
15/06/16	20	16	24
16/06/16	21	18	24
17/06/16	19	15	22
18/06/16	21	16	25
19/06/16	19	14	23
20/06/16	18	15	20
21/06/16	21	16	24
22/06/16	25	20	30
23/06/16	28	22	32
24/06/16	29	23	34
25/06/16	27	23	32
26/06/16	28	24	32
27/06/16	23	19	29
28/06/16	25	20	30
29/06/16	25	20	28
30/06/16	25	19	29

Tabella 7. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di giugno 2016 (Fonte Meteo.it).

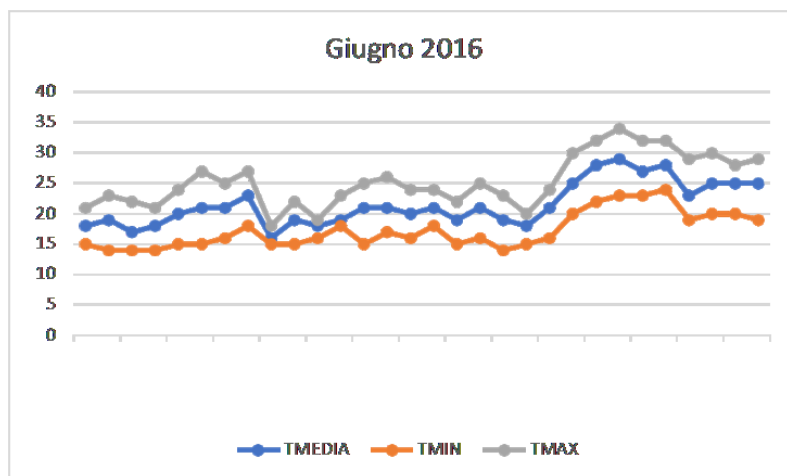


Figura 11. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di giugno 2016.

2016 – Luglio

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/07/16	26	21	30
02/07/16	27	22	30
03/07/16	27	23	31
04/07/16	27	21	30
05/07/16	27	22	32
06/07/16	27	23	31
07/07/16	29	24	32
08/07/16	28	24	32
09/07/16	28	22	32
10/07/16	29	23	32
11/07/16	30	24	35
12/07/16	29	22	34
13/07/16	25	21	27
14/07/16	21	18	27
15/07/16	17	14	20
16/07/16	21	16	25
17/07/16	22	17	26
18/07/16	26	20	29
19/07/16	27	22	30
20/07/16	29	25	34
21/07/16	29	24	33
22/07/16	24	21	27
23/07/16	25	21	29
24/07/16	25	20	29
25/07/16	26	21	30
26/07/16	28	22	34
27/07/16	29	24	34
28/07/16	22	21	25
29/07/16	27	19	31
30/07/16	29	23	33
31/07/16	28	23	32

Tabella 8. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di luglio 2016 (Fonte Meteo.it).

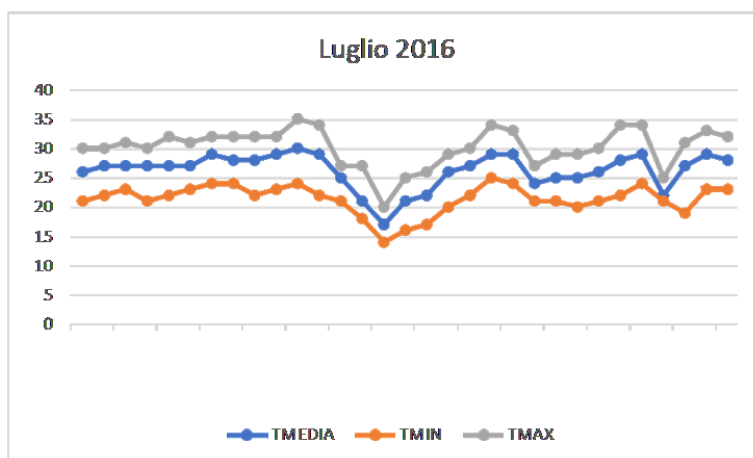


Figura 12. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di luglio 2016.

2016 – Agosto

DATA	TMEDIA	TMIN	TMAX
01/08/16	27	22	32
02/08/16	26	21	30
03/08/16	28	23	33
04/08/16	29	24	34
05/08/16	24	21	28
06/08/16	22	16	27
07/08/16	26	19	29
08/08/16	25	20	29
09/08/16	27	22	32
10/08/16	23	20	29
11/08/16	23	19	26
12/08/16	22	15	27
13/08/16	25	17	30
14/08/16	26	21	30
15/08/16	27	21	30
16/08/16	27	21	32
17/08/16	25	20	28
18/08/16	25	19	30
19/08/16	23	20	26
20/08/16	27	20	31
21/08/16	26	20	32
22/08/16	26	20	29
23/08/16	25	16	30
24/08/16	26	17	31
25/08/16	27	20	33
26/08/16	27	21	32
27/08/16	29	22	33
28/08/16	26	21	31
29/08/16	27	21	32
30/08/16	25	20	30
31/08/16	25	20	28

Tabella 9. La tabella raggruppa le temperature massime medie e minime per ogni giorno del mese di agosto 2016 (Fonte Meteo.it).

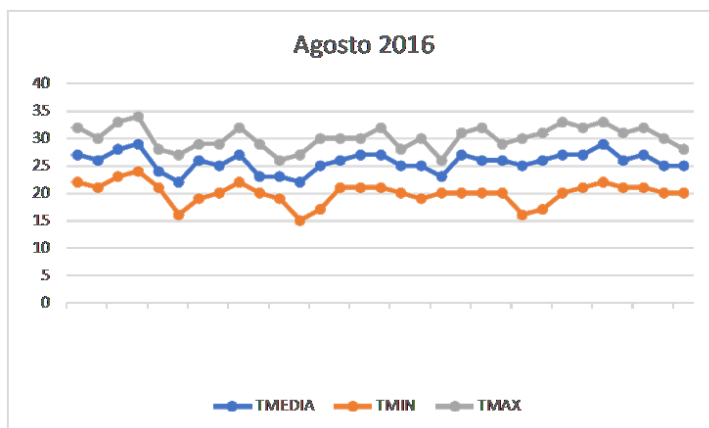


Figura 13. Grafico relativo alle temperature massime, medie e minime giornaliere del mese di Agosto 2016.

## Confronti

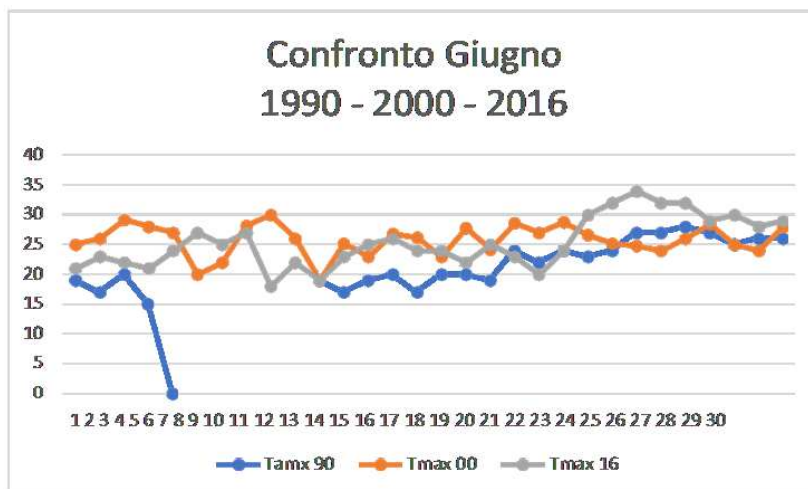


Figura 13. Grafico raffigurante il confronto delle temperature del mese di giugno per gli anni 1990, 2000, 2016.

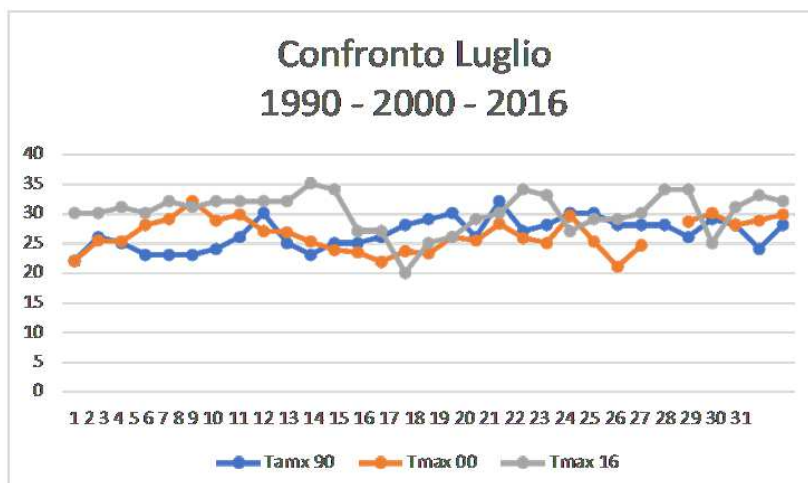


Figura 14. Grafico raffigurante il confronto delle temperature del mese di luglio per gli anni 1990, 2000, 2016.

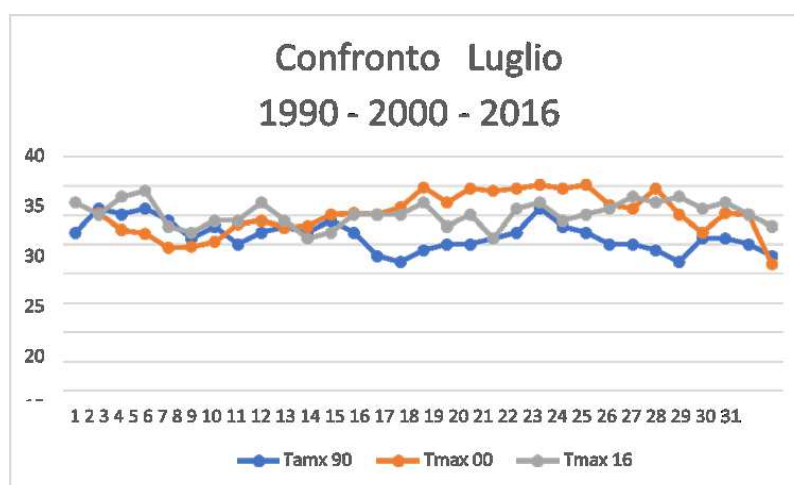


Figura 15. Grafico raffigurante il confronto delle temperature del mese di Agosto per gli anni 1990, 2000, 2016.



Descrizione	1990	2000	2016
Media Max	24,3286738	27,4111111	28,5630824
Media Min	18,330681	18,4155556	19,5293907

Tabella 10. Temperature Medie (massime e minime) periodi giugno – luglio – agosto per gli anni 1990, 2000, 2016.

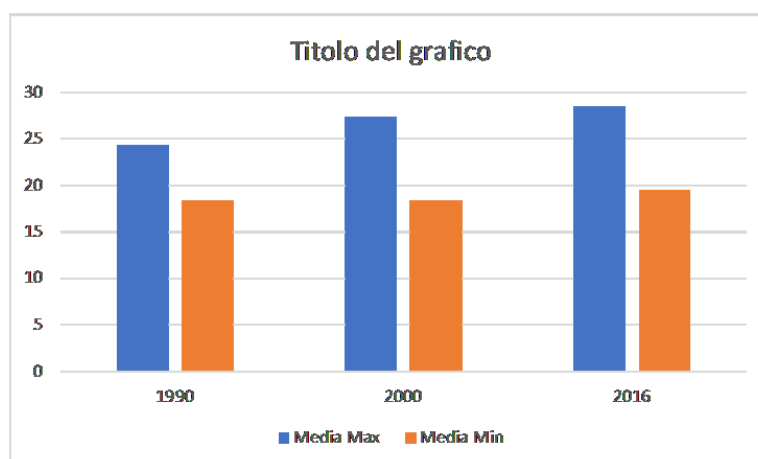


Figura 16. Grafico raffigurante le temperature Medie (massime e minime) periodi giugno – luglio – agosto per gli anni 1990, 2000, 2016.

1990	Giugno	Luglio	Agosto
N° giorni sopra media MAX	7	24	25
N° giorni sopra media MIN	6	20	26

2000	Giugno	Luglio	Agosto
N° giorni sopra media MAX	9	12	23
N° giorni sopra media MIN	3	10	24

2016	Giugno	Luglio	Agosto
N° giorni sopra media MAX	8	24	24
N° giorni sopra media MIN	7	26	23

Tabelle 11. Le tabelle riassumono, per ogni anno analizzato, il n° di giorni che superano le medie delle temperature massime calcolate.

## Metodo e dati

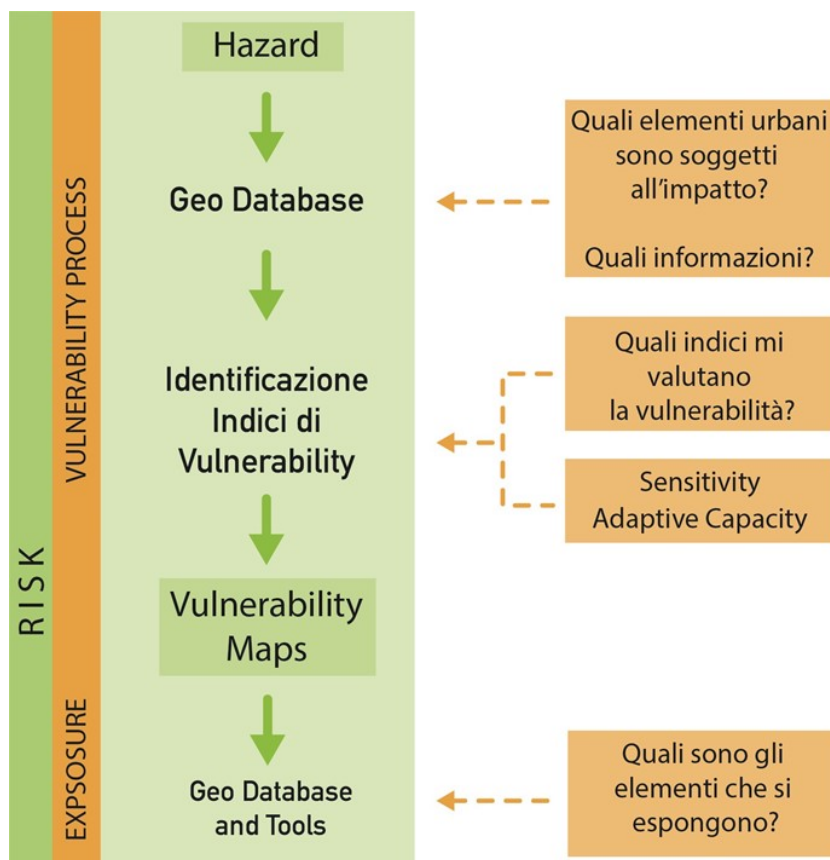


Figura 17. Grafico di sintesi del flusso di lavoro per la strutturazione del geodatabase utile alla valutazione della vulnerabilità.

## Corine Land Cover

Il progetto Corine Land Cover (CLC) è nato a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela ambientale.

Sono state utilizzate le banche dati relative agli anni:

- 1990
- 2000
- 2012
- 2018

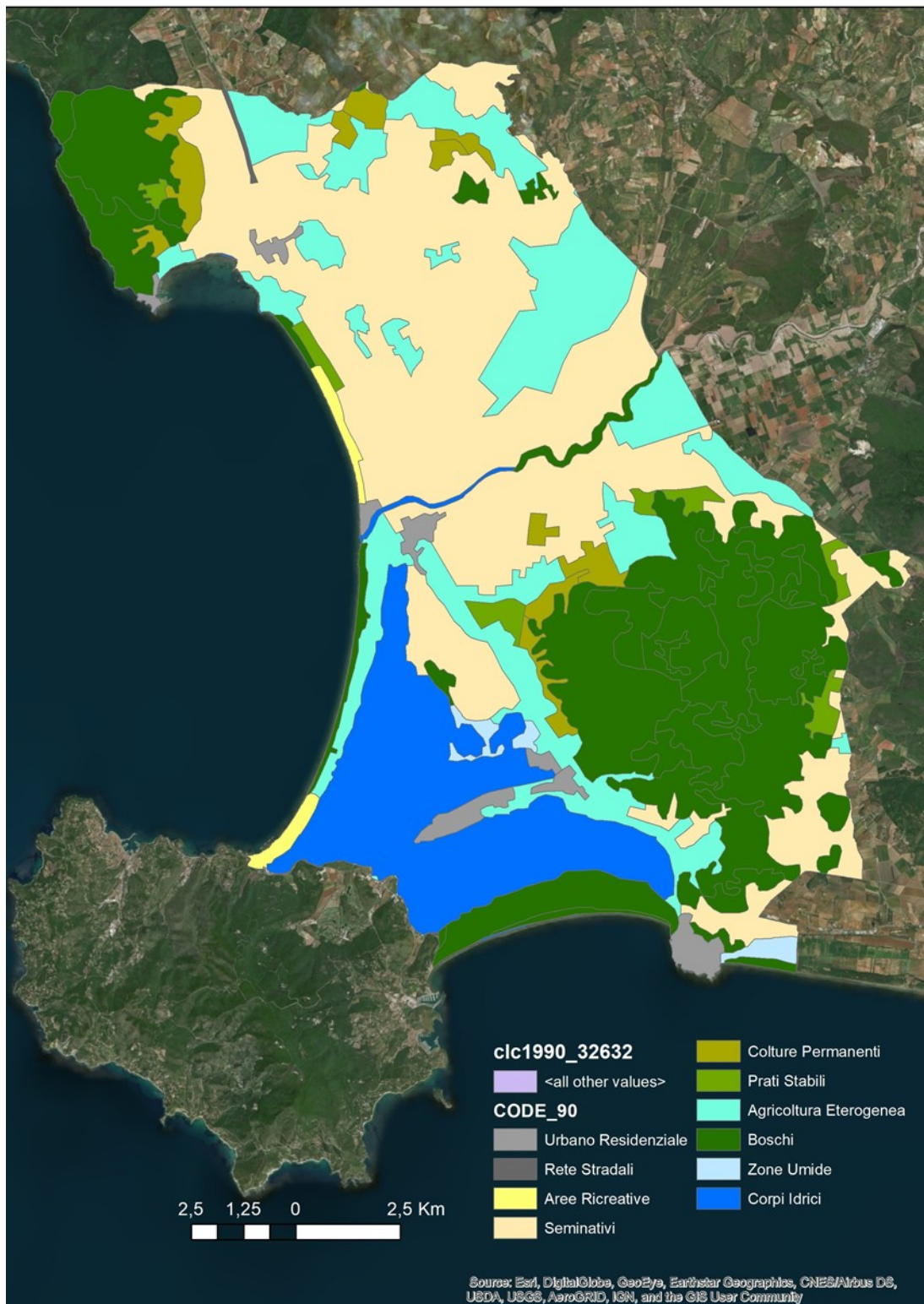


Figura 18. Mappa tematizzata per uso del suolo del 1990. (Fonte Corine).

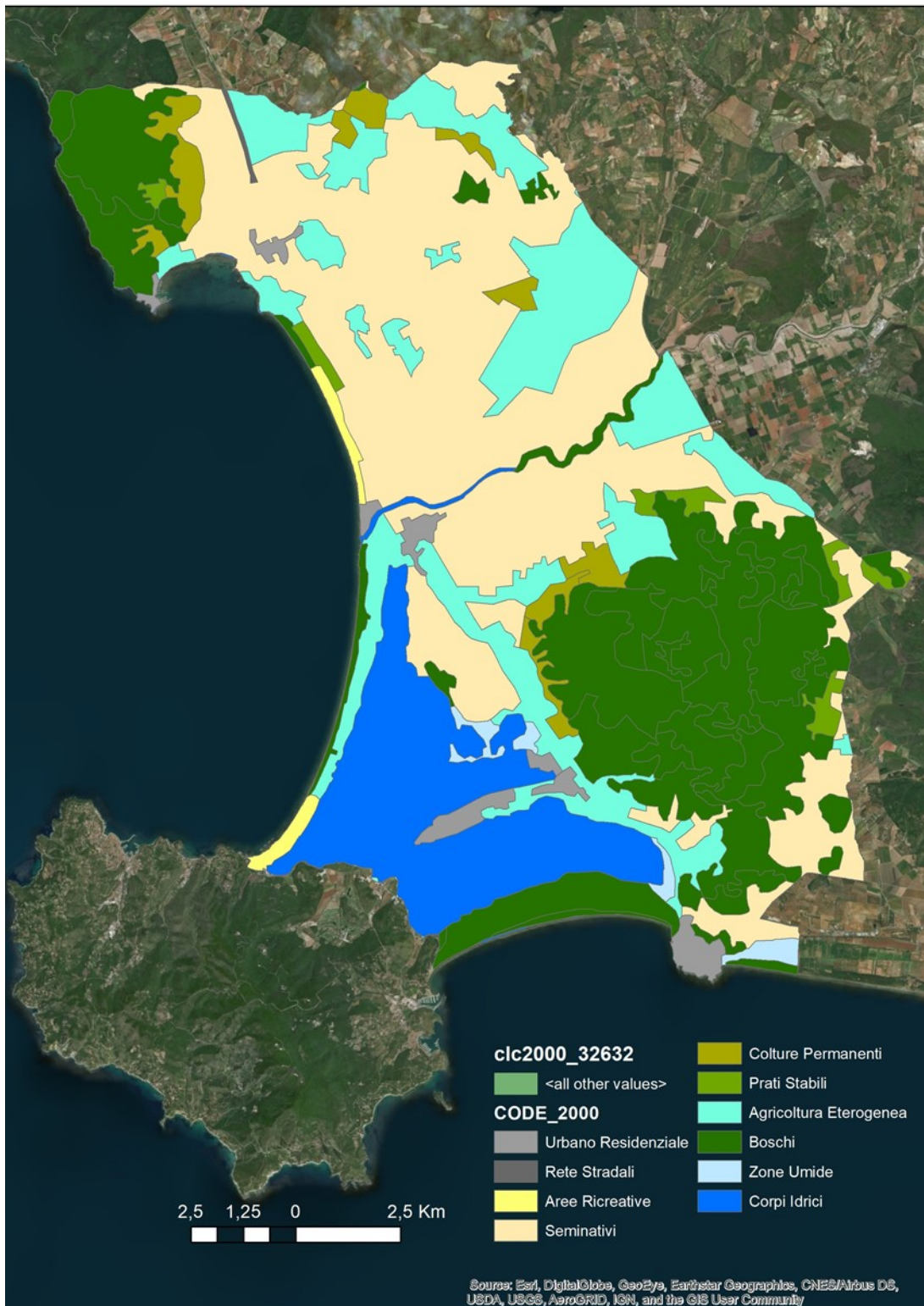


Figura 19. Mappa tematizzata per uso del suolo del 2000. (Fonte Corine)

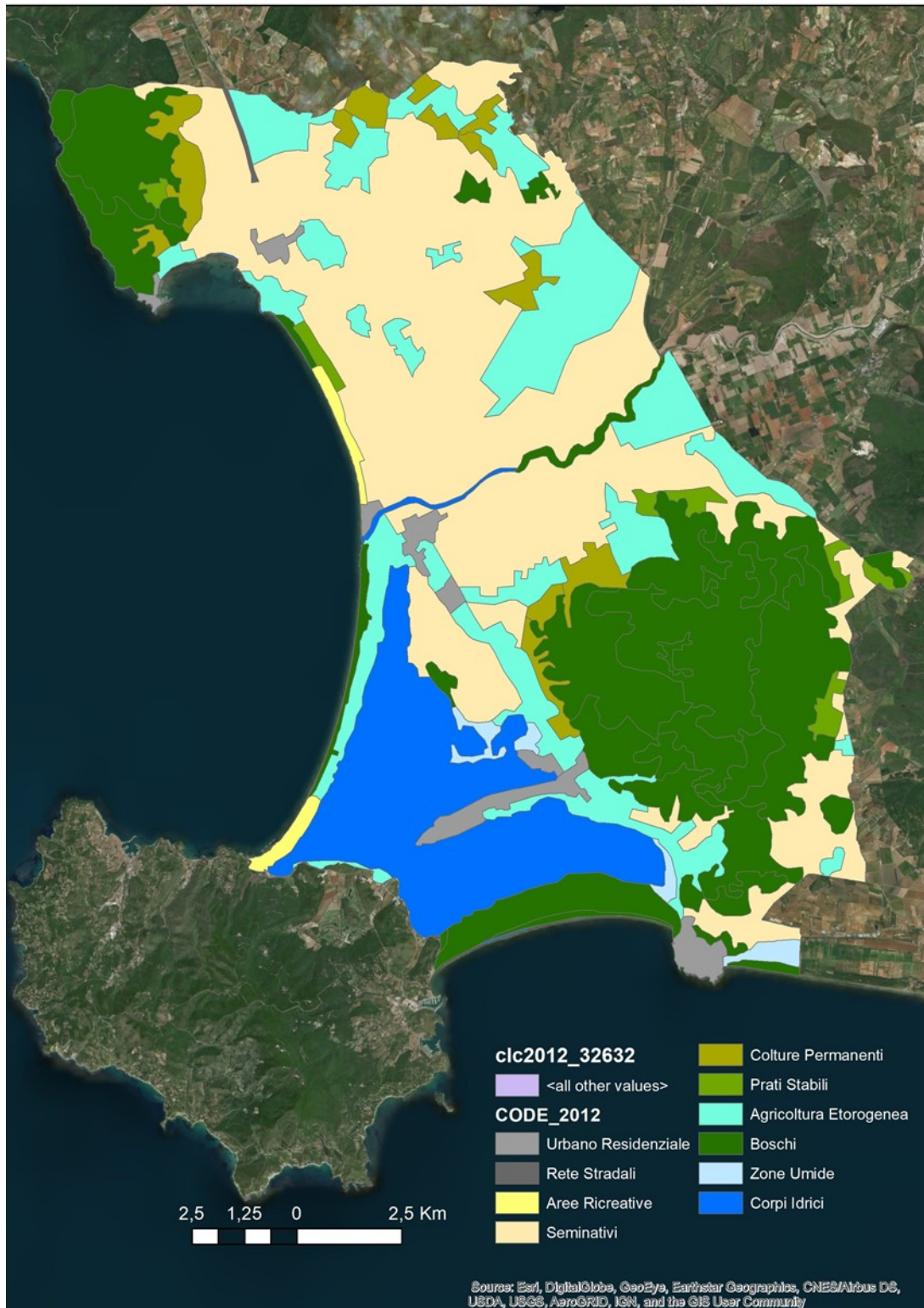


Figura 20. Mappa tematizzata per uso del suolo del 2012. (Fonte Corine)

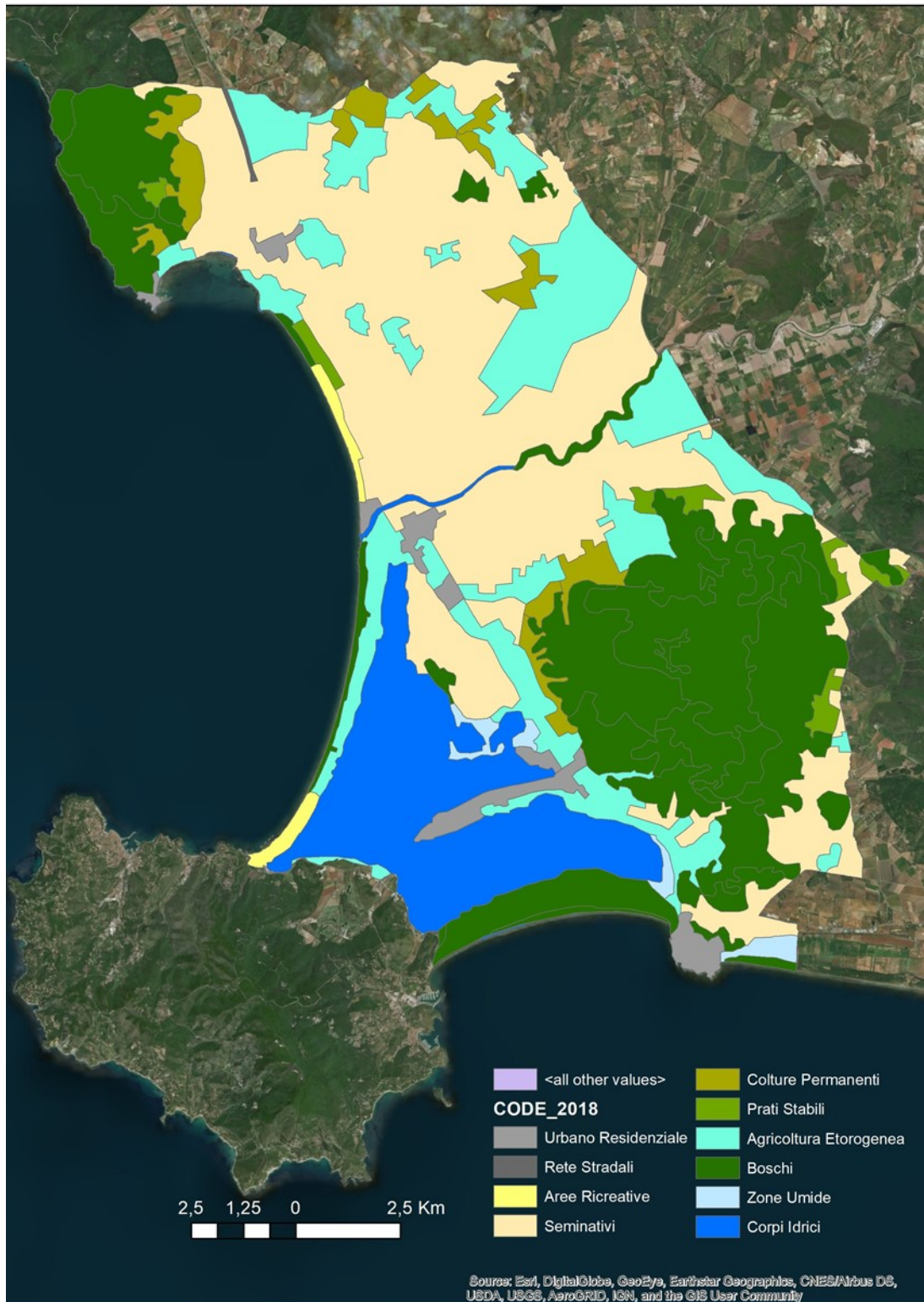


Figura 21. Mappa tematizzata per uso del suolo del 2018. (Fonte Corine)

## CAPITOLO 1. ANALISI EFFETTUATE

### **Analisi della temperatura terrestre**

Attraverso le tecnologie di telerilevamento applicate ai dati satellitari forniti dalle piattaforme Landsat, è possibile restituire la Land Surface Temperature (LST). Essa è definita come la temperatura radiante a raso della superficie terrestre, misurata mediante i sensori ottici multispettrali del satellite. La stima avviene utilizzando la temperatura di luminosità al di sopra dell'atmosfera dai canali spettrali dell'infrarosso di una costellazione di satelliti geostazionari (Landsat 4-5, Landsat 8). Il suo assetto dipende ulteriormente dall'albedo, dalla copertura vegetale e dall'umidità del suolo.

In seguito, vengono riportati i passaggi operativi per l'acquisizione e l'elaborazione finale del dato in formato raster.

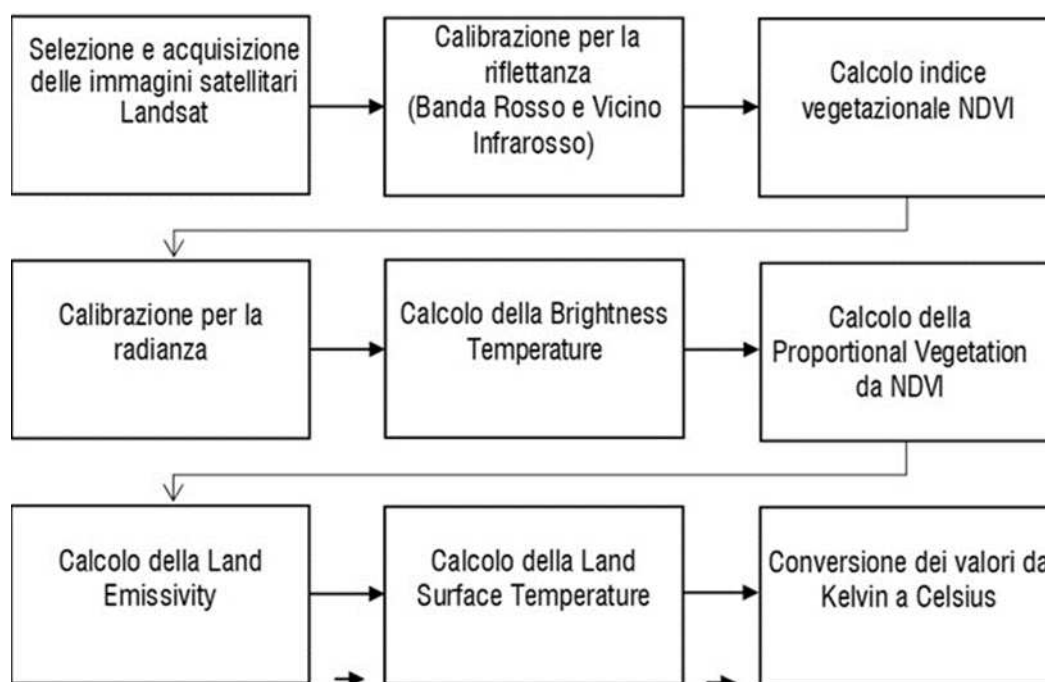


Figura 22. Flusso del lavoro per la produzione dei livelli informativi relativi al LST (Land Surface Temperature).

Per restituire delle osservazioni in confronto agli ultimi anni, sono state acquisite diverse immagini satellitari, osservando in parallelo alla valutazione delle temperature durante i periodi estivi, i giorni di caldo più intenso. In compatibilità rispetto al momento orbitale di acquisizione, ossia passaggio della piattaforma satellitare sopra l'area interessata ed alla minor presenza di nuvole nell'atmosfera, sono state scelte le seguenti immagini.

Anno	Satellite	Data	Nome file
1990	Landsat 4	27-07-1990	LT04_L1TP_192029_19900727_20170130_01_T1
2000	Landsat 7	22-07-2000	LE07_L1TP_192030_20000706_20170211_01_T1
2018	Landsat 8	01-08-2018	LC08_L1TP_192030_20180801_20180814_01_T1

Tabella 12. Tipologia di satellite, data e nome file utilizzato per ricavare LST.

Le ricerche avanzate sul tema dell'isola di calore (UHI) (U.S. Environmental Protection Agency, 2014) dimostrano come sussista una correlazione tra temperatura dell'aria, nota appunto attraverso le previsioni meteorologiche, e la temperatura di superficie (LST), ricavabile attraverso il telerilevamento. In tal senso, è stato osservato che rispetto ad un transetto urbano variabile, le curve termiche delle due temperature oscillano maggiormente durante le ore diurne, mentre rimangono strettamente allineate durante le ore notturne.

Le acquisizioni del sensore ottico della piattaforma Landsat avvengono per osservare le immagini durante le ore diurne. A tal proposito, la valutazione delle temperature giornaliera, ha permesso di conoscere il trend di avanzamento delle temperature minime (solitamente registrate di notte) e delle temperature massime, così come la temperatura media giornaliera, e quindi seguire una logica volta a far dialogare temporalmente e spazialmente i due aspetti, nonostante la disponibilità limitata di dati per entrambe le analisi.



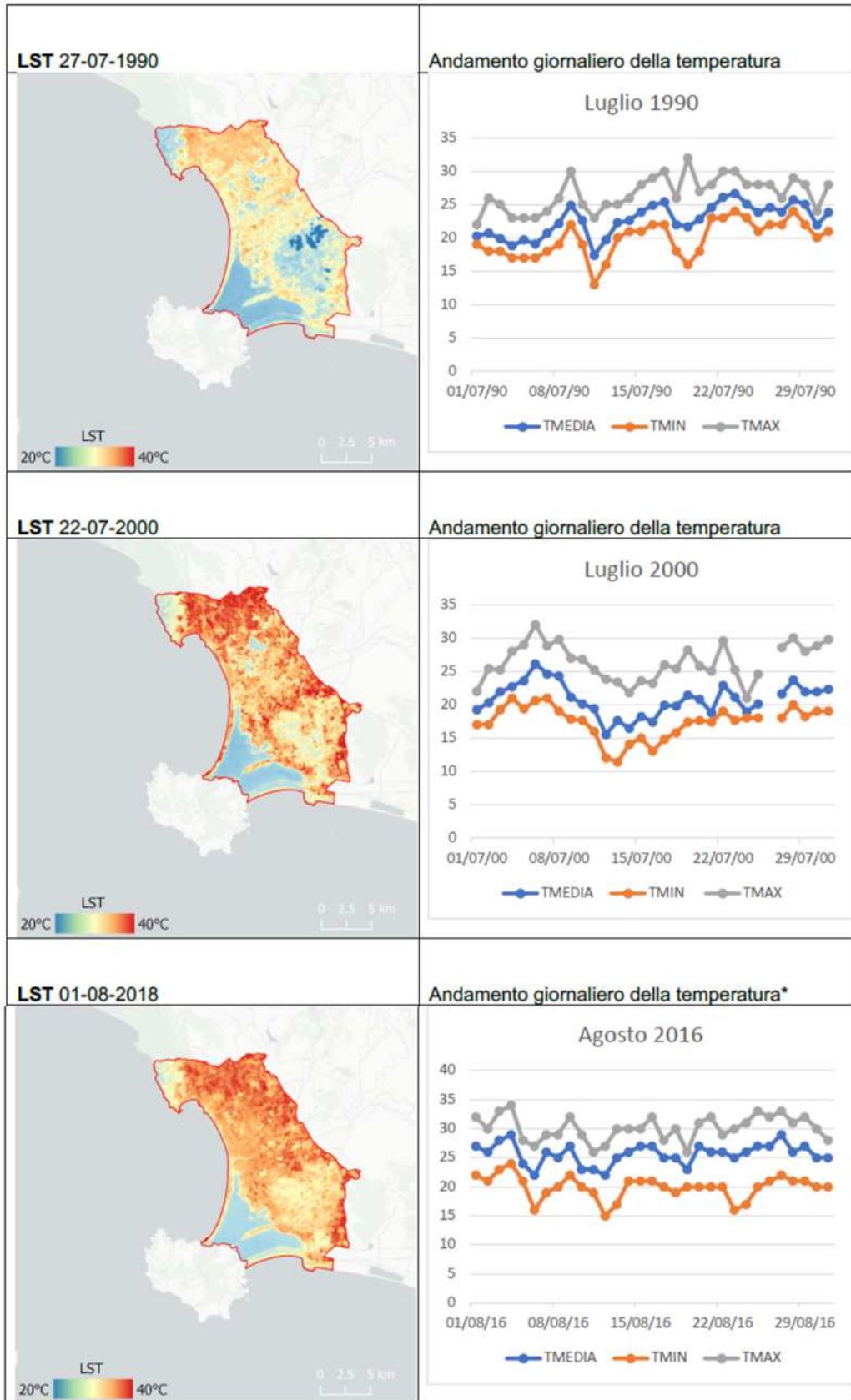


Figura 23. Le mappe rappresentano la temperatura del suolo LST (anni 1990, 2000, 2018) ottenuto dall'elaborazione dei dati satellitari

\* A causa della discontinuità di dati, il confronto giornaliero della temperatura, è stato effettuato sull'anno 2016.

Epa, U. S. (2014). Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics. Reducing Urban Heat Islands Compendium of Strategies, 1–19. Retrieved from <http://www.epa.gov/hiri/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>

Analizzando queste informazioni risulta come l'aumento dei giorni più caldi, sia in termini di frequenza che in termini di intensità, costituisce un aumento progressivo ed in estensione su tutto il territorio. L'ondata di calore, oltre a concentrarsi nell'area urbana, che per sua natura fisica e morfologica, è predisposta ad essere più calda, diventa un fenomeno verificabile con maggiore probabilità anche su altre tipologie di suolo, in passato più in equilibrio

### **Analisi della vegetazione**

L'effetto mitigante fornito dai servizi ecosistemici presenti sul territorio è una delle caratteristiche da conoscere per rispondere alle esternalità delle ondate di calore. Su questo aspetto è stato restituito, sempre utilizzando i dati e le tecnologie di telerilevamento, un inquadramento dello stato vegetazionale presente nell'area di Orbetello. A tal scopo, è stato calcolato l'indice vegetazionale *Normalized Difference Vegetational Index* (NDVI), noto appunto per esprimere in termini quantitativi lo stato di salute della vegetazione in merito all'attività clorofilliana delle specie floristiche.

La formula (Rouse, 1973) prende i valori di radianza registrati nelle bande dell'infrarosso e del rosso visibile, dunque nei dati raster del satellite, restituendo un indice che va da -1, in caso di assenza di vegetazione, a 1, in caso di massimo vigore della vegetazione.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

Rouse, J.W. – Haas, R.H. – Schell, J.A. – Deering, D.W. (1973): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third 80 ERTS Symposium, NASA SP-351, pp. 309-317

Le immagini satellitari utilizzate fanno riferimento alle diverse date disponibili. Mentre i sensori delle piattaforme Landsat restituiscono un dato a 30-15 m di risoluzione, attraverso l'utilizzo del satellite Sentinel-2, lanciato e operativo dal 2013, è possibile avere un dato più preciso con una risoluzione geometrica di 10 m.

<b>Anno</b>	<b>Satellite</b>	<b>Data</b>	<b>Nome file</b>
1990	Landsat 4	27-07-1990	LT04_L1TP_192029_19900727_20170130_01_T1
2000	Landsat 7	22-07-2000	LE07_L1TP_192030_20000706_20170211_01_T1
2018	Sentinel-2B	22-08-2018	S2B_MSIL2A_20180822T101019_N0208_R022_T32TPN_20180822T161243

Tabella 13. Tipologia di satellite, data e nome file utilizzato per ricavare NDVI

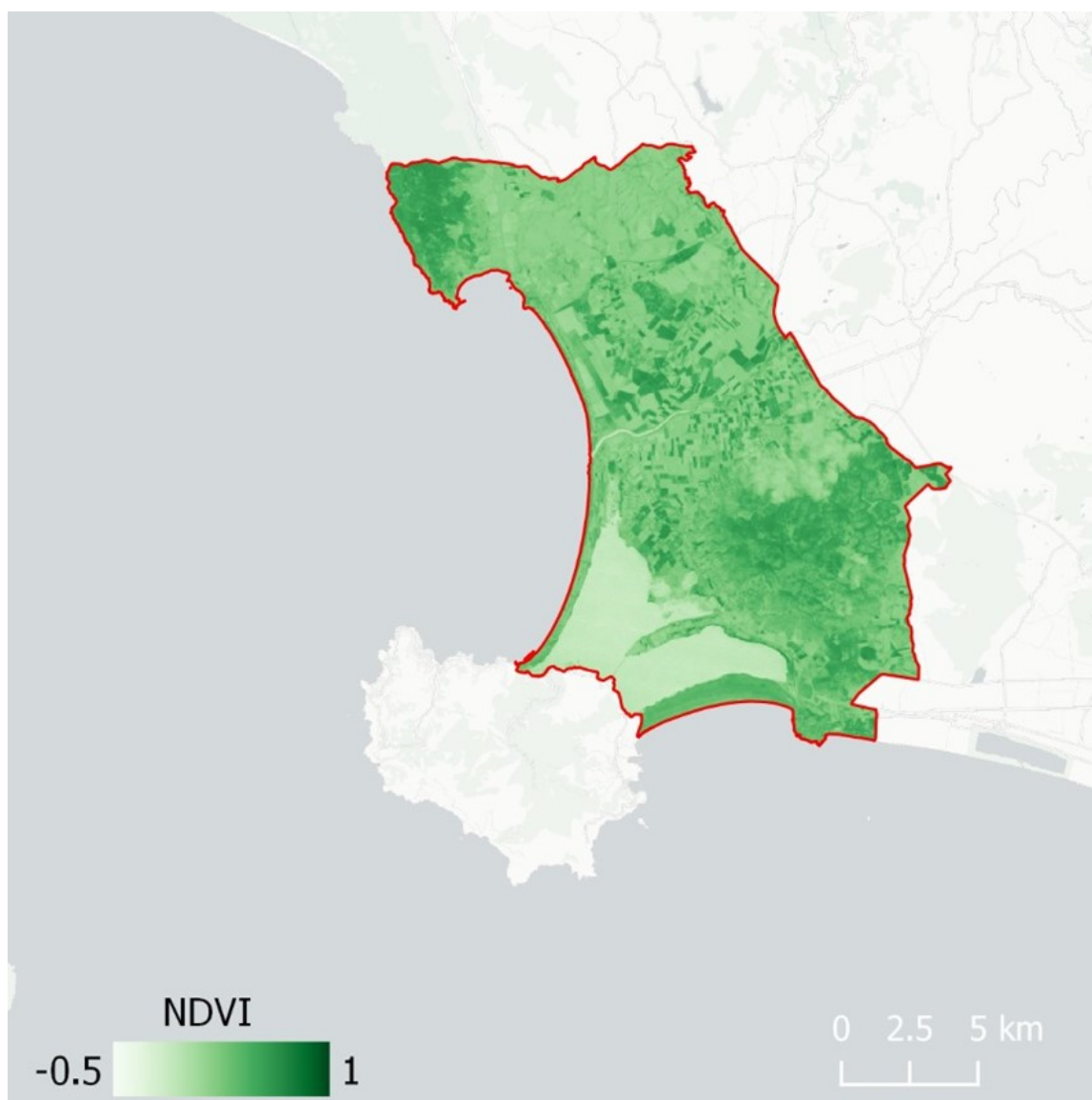


Figura 24. La mappa tematizza il valore espresso dall'indicatore NDVI calcolato dalle ortofoto satellitari per l'anno 1990

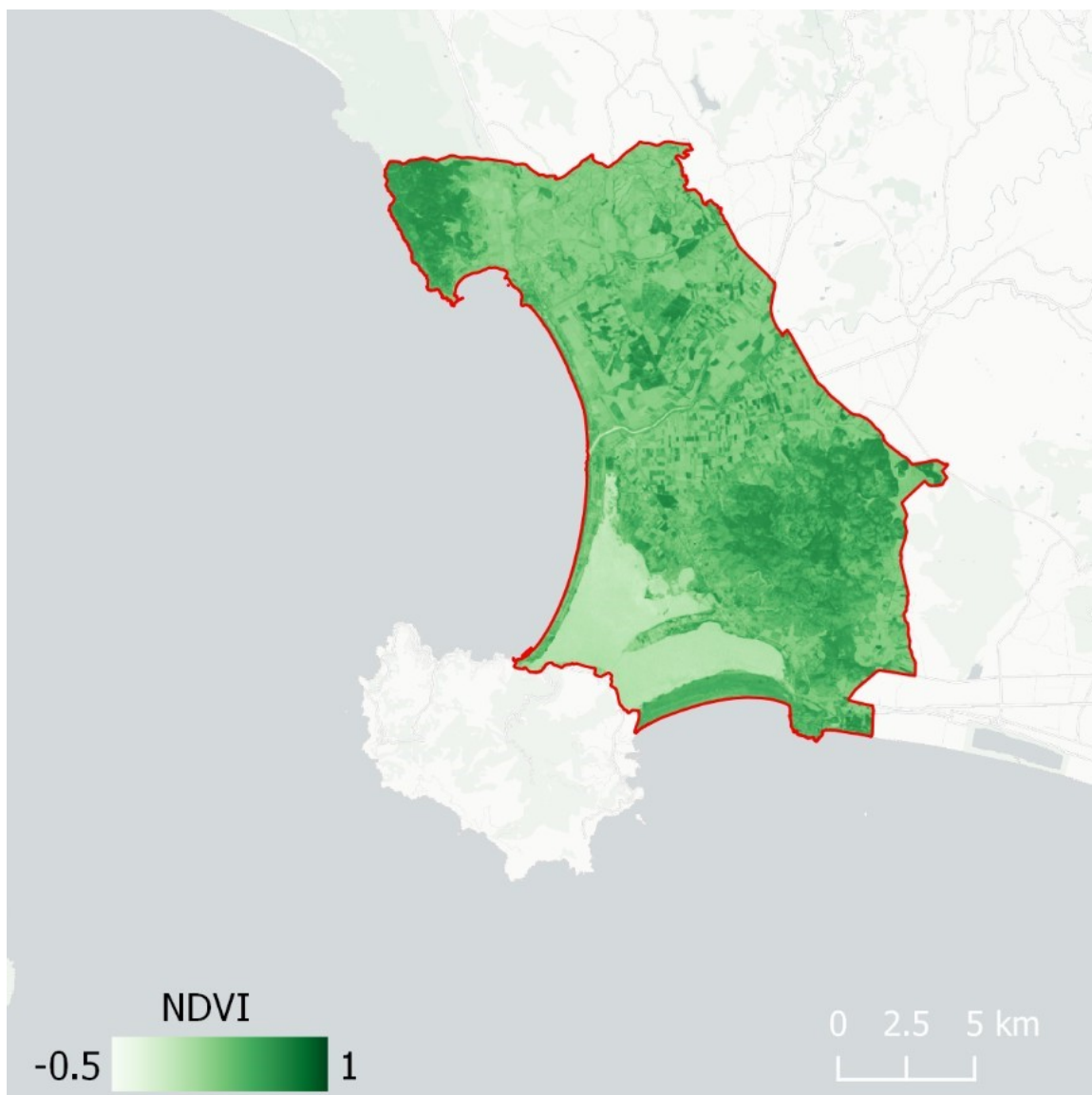


Figura 25. La mappa tematizza il valore espresso dall'indicatore NDVI calcolato dalle ortofoto satellitari per l'anno 2000.

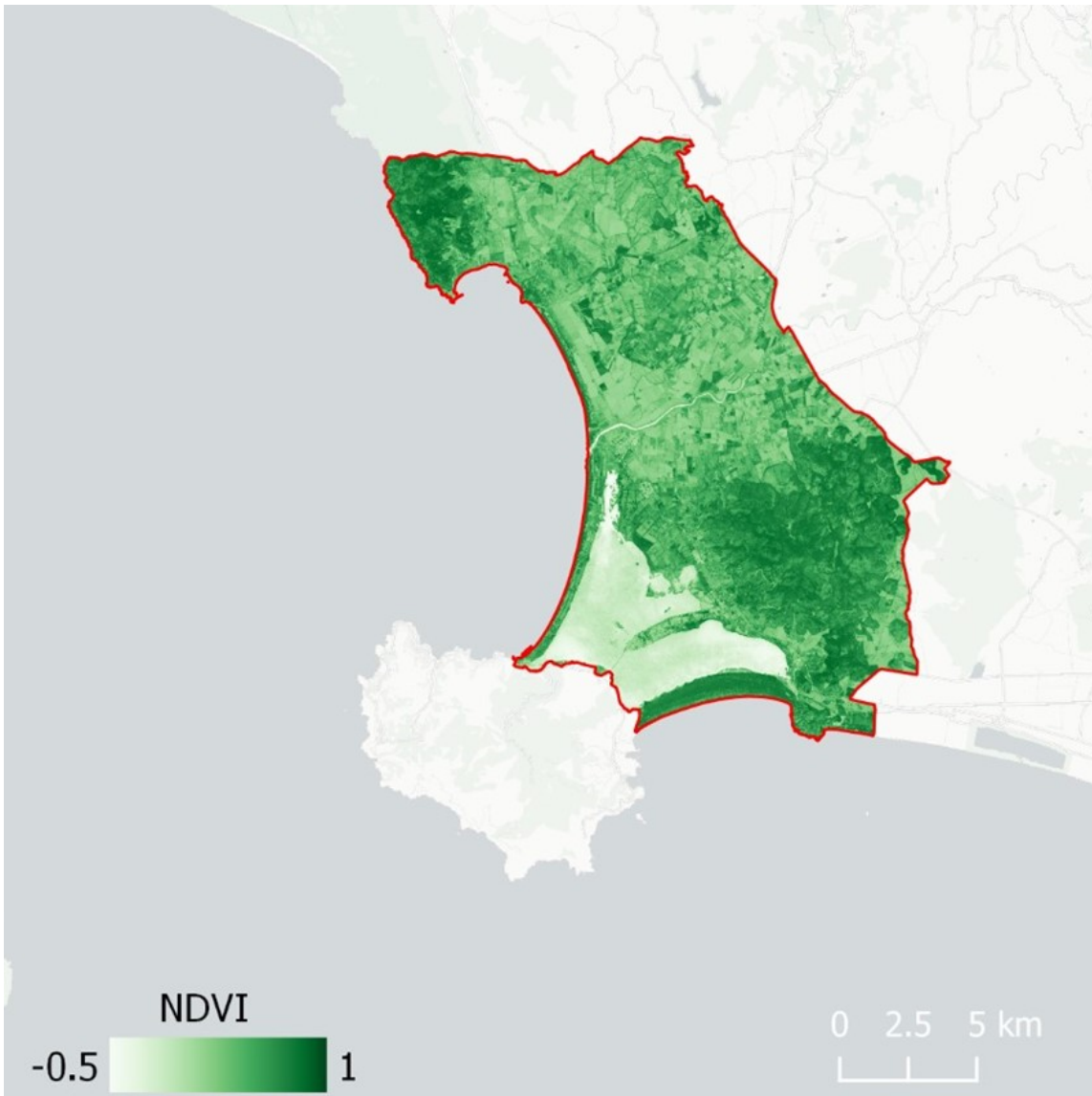


Figura 26. La mappa tematizza il valore espresso dall'indicatore NDVI calcolato dalle ortofoto satellitari per l'anno 2000.

## CAPITOLO 2. RISULTATI

### ***Analisi statistica e zonale delle variabili territoriali***

Vista l'eterogeneità delle caratteristiche territoriali nello spazio e nel tempo, al fine di costruire un rapporto tra queste, viene riportata un'analisi seguendo gli anni già scelti, confrontando la dispersione, ossia il grado di correlazione presente tra le variabili vegetazione e temperatura.

La matrice di analisi è costituita da una maglia esagonale regolare di 250 m di lato. Le geometrie di questa maglia costituiscono le singole unità di analisi.

La presenza di vegetazione è stata sintetizzata spazialmente con la media dell'indice NDVI, a dimostrazione dello stato di vigore vegetale derivato dalla concentrazione di specie floristiche ed arboree.

La distribuzione della temperatura è stata sintetizzata spazialmente con la media della Land Surface Temperature (LST), calcolata attraverso gli strumenti di telerilevamento, per analizzare le concentrazioni di calore/energia sulla superficie complessiva del territorio.

Nel primo confronto comparativo tra gli anni 1990, 2000 e 2018, viene mostrato il dato aggregato per ciascuna caratteristica. Successivamente, per ciascun anno è stato elaborato un grafico di dispersione per osservare la correlazione delle due variabili.

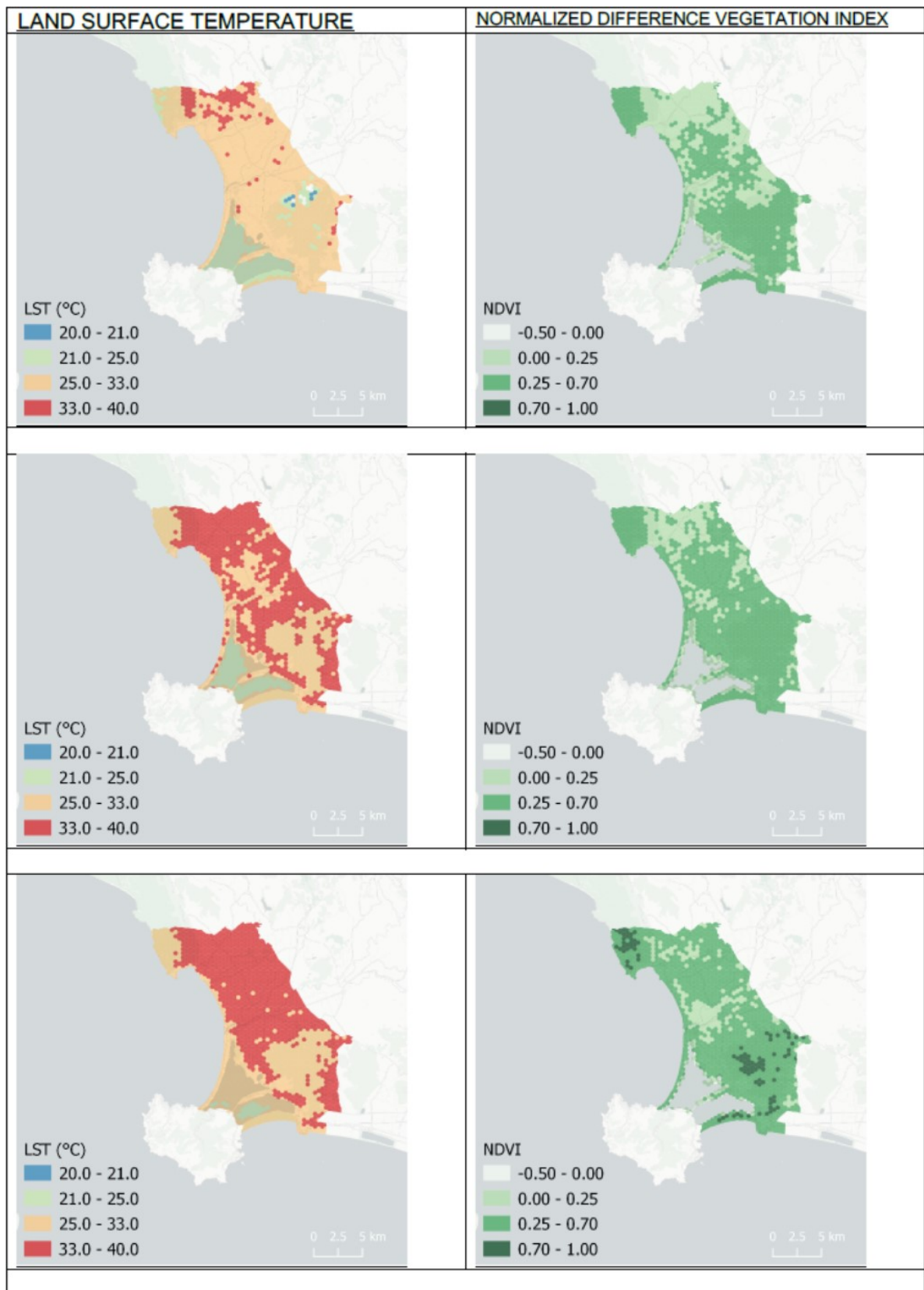


Figura 27. La mappa raffronta i risultati spaziali tra gli indicatori LST e NDVI per i 3 anni considerati.

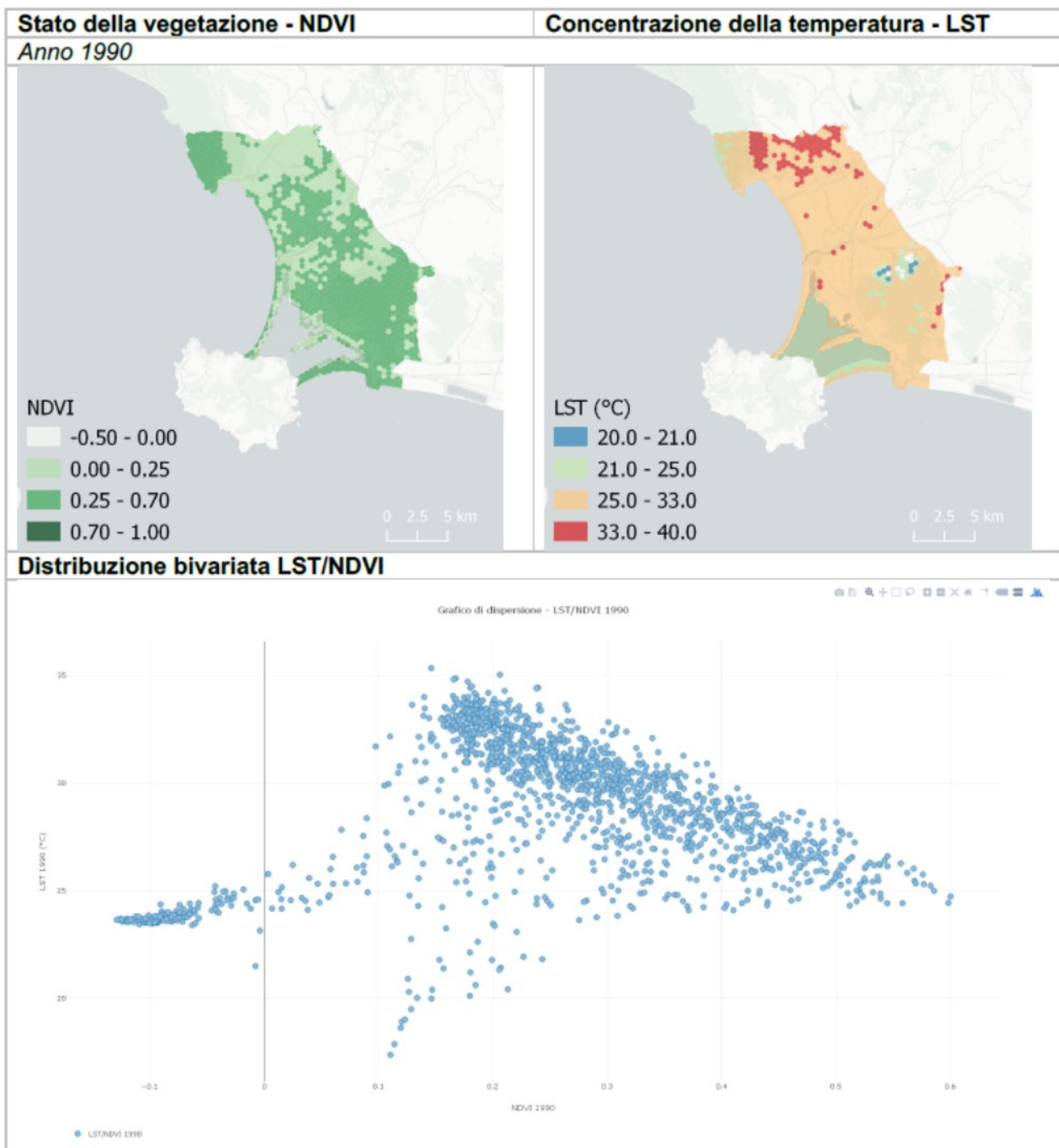


Figura 28. La mappa mette in evidenza la relazione tra temperature superficiali e valore dell'NDVI. La temperatura cresce in relazione alla diminuzione dell'efficienza dei servizi ecosistemici presenti. Anno1990



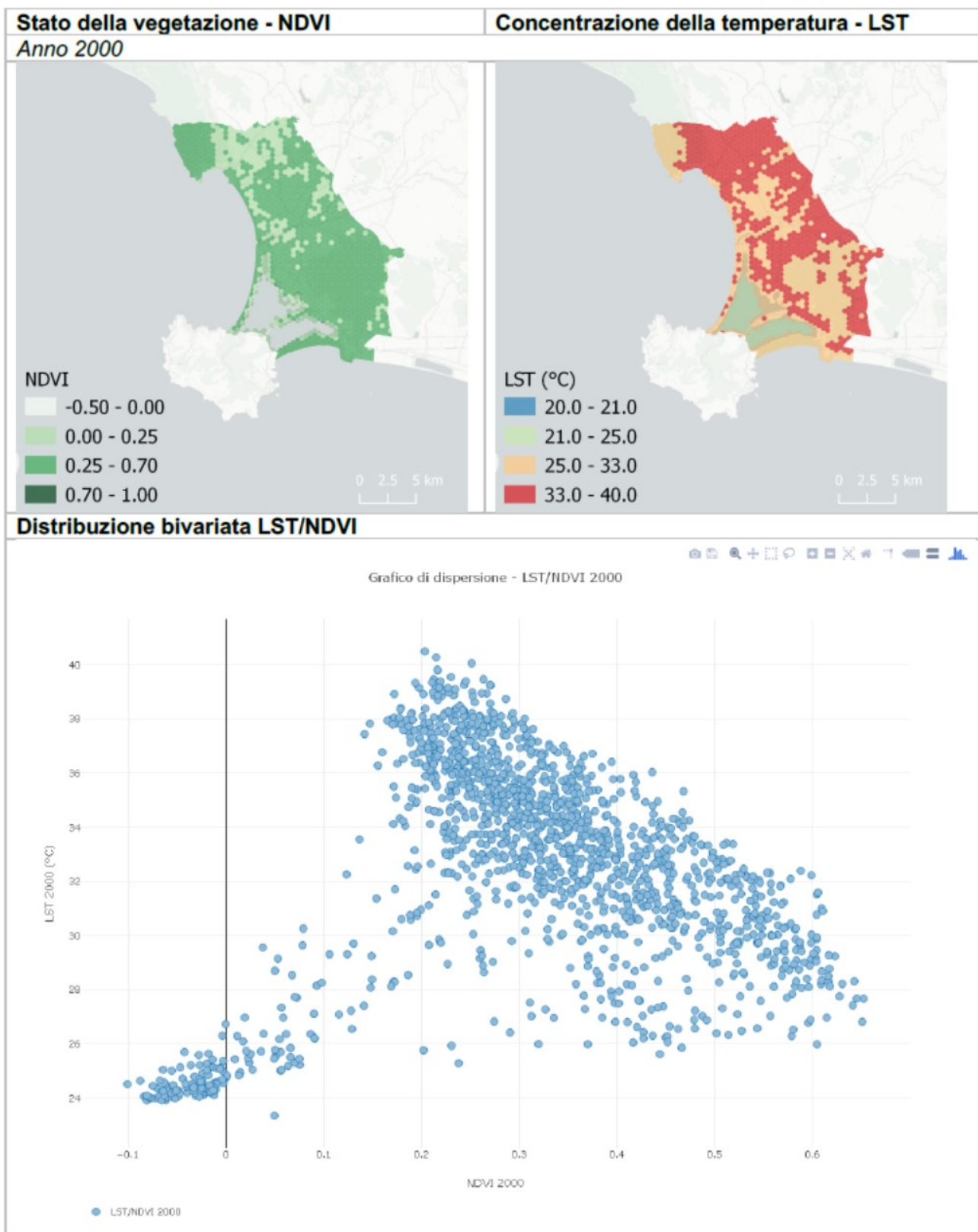


Figura 29. La mappa mette in evidenza la relazione tra temperature superficiali e valore dell'NDVI. La temperatura cresce in relazione alla diminuzione dell'efficienza dei servizi ecosistemici presenti. Anno 2000.

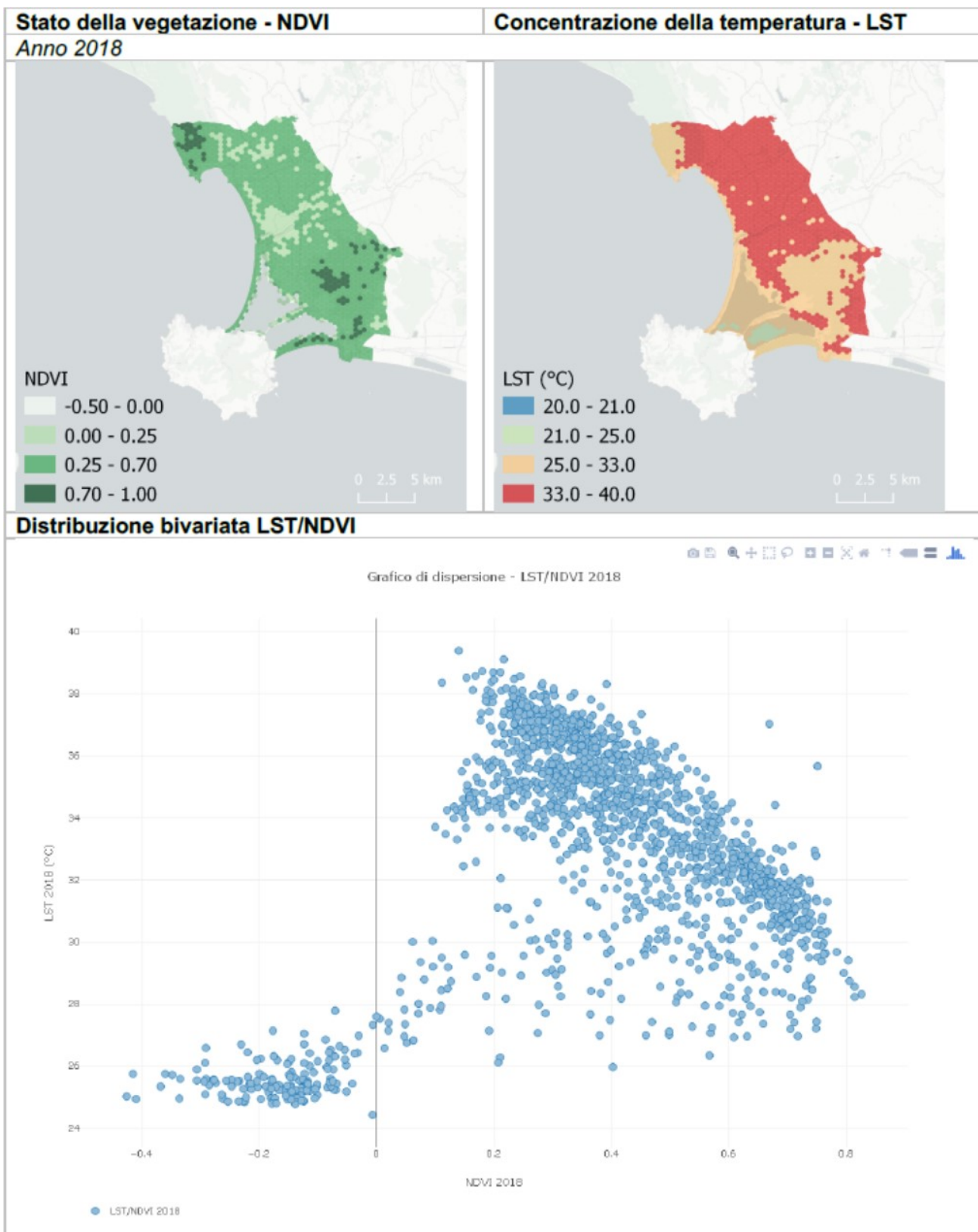


Figura 30. La mappa mette in evidenza la relazione tra temperature superficiali e valore dell'NDVI. La temperatura cresce in relazione alla diminuzione dell'efficienza dei servizi ecosistemici presenti. Anno 2018.

### ***La valutazione di vulnerabilità del sistema territoriale di Orbetello***

In origine sono stati calcolati i valori sulla maglia esagonale estesa al Comune, ossia la porzione perimetrata dai limiti amministrativi di Orbetello. Le variabili sintetizzate sono la temperatura della superficie (LST), l'indice NDVI, il *moisture index* (umidità), la densità di superficie edificata.

Una volta ottenute queste informazioni, per aggiungere un ulteriore livello informativo/interpretativo, è stato preso in considerazione l'uso del suolo della Corine Land Cover frammentando così le geometrie in corrispondenza delle zone riconosciute per la copertura del suolo attraverso l'intersezione dei due livelli.

La vulnerabilità di un sistema (territoriale) è data dall'interazione dei cosiddetti fattori di sensibilità e dalla capacità di adattamento.

La sensibilità tiene conto della temperatura della superficie (LST) e della densità costruita, in quanto sono i fattori che massimizzati danno un feedback negativo sull'impatto dell'ondata di calore.

La capacità di adattamento comprende l'indice NDVI per il feedback positivo della presenza di vegetazione e l'indice di umidità del suolo come altro indicatore di stato delle superfici rurali.

In riferimento allo specifico sistema territoriale di Orbetello, tale contenuto specialistico è rappresentato nella Tavola di Piano SSS.04 – Strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.