



COMUNE DI BERGAMO

Provincia di Bergamo

CARTA DELLA VULNERABILITÀ AI SENSI DEL PROTOCOLLO ARETÉ®

RELAZIONE TECNICO AGRONOMICA

Committente:

Comune di Bergamo



Professionisti:

dott. Giovanni Iezzi agronomo i
dott. agronomo Massimo Ranghetti
dott. Federico Pelucchi agronomo i
dott. forestale Adriano Prandelli

Via del Castello di Malpaga 8, 24050 – Cavernago (BG)

V.	Descrizione	Data	Elaborato	Controllo/validazione
1	Relazione tecnico agronomica	Maggio 2025	G.I. / A.P.	A.P. / M.R. / F.P.

Commessa n°	86_24
Stato d'avanzamento	-
ID file	86_24_CdV_BG
Scala	-
Allegato	

I progettisti si riservano la proprietà intellettuale del presente elaborato ai sensi della legge 22/4/1941 n°663.



RURALIA
STUDIO AGRONOMICO



.. STUDIO ..
ARBOTECNICA



SOMMARIO

1. PREMESSA.....	4
IL PROTOCOLLO ARETÉ®	4
INQUADRAMENTO DELLA MATERIA – PERICOLO E RISCHIO.....	4
IL RISCHIO E LA TOLLERABILITÀ.....	5
INQUADRAMENTO NORMATIVO – GESTIONE DEL RISCHIO E NORMA UNI ISO 31000 ¹	7
2. LA PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ NEL CONTESTO DEL RISCHIO	9
VULNERABILITÀ NEL CONTESTO ARBOREO	9
LA VULNERABILITÀ DEI LUOGHI SECONDO IL MODELLO PROPOSTO DAL PROTOCOLLO ARETÉ®	9
Area di potenziale caduta	9
Il fattore di danno	9
Il fattore di contatto.....	10
Qual è il momento in cui si deve valutare il bersaglio?	11
Tasso di occupazione.....	11
Metodo di valutazione del bersaglio	12
Valore del bersaglio	12
Classi di bersaglio	13
Tipologia di bersagli.....	13
Traffico veicolare.....	13
Passaggio di pedoni e ciclisti	14
Occupazione	14
Beni materiali	14
Valutazione dei bersagli multipli	14
CLASSI DI BERSAGLIO DI RIFERIMENTO	15
Albero modello.....	15
Tabelle di riferimento bersagli	15
3. FINALITÀ E OBIETTIVI DELLA CdV	17
4. ACQUISIZIONE E METEODOLOGIA ANALISI DEI DATI	18
ACQUISIZIONE DEI DATI.....	18
Dati topografici-territoriali	18
Dati statistici – mobilità	23
Dati statistici – frequentazione parchi urbani	26
Dati statistici – attività quotidiane ISTAT	26
Dati statistici – tipologie, frequenze di utilizzo e tempistiche relative ai parcheggi	27



Dati statistici – distributori di carburante	28
Dati statistici – altezza degli edifici e conflitto con gli alberi	28
Dati statistici – frequentazione dei giardini scolastici e universitari	28
Dati statistici – albero modello	28
METODOLOGIE ADOTTATE PER L'ANALISI DEI DATI	29
La ragionevolezza nell'interpretazione dei dati	29
Analisi deduttive	29
Analisi di regressione	29
Stima Kernel di densità - Kernel density estimation (KDE)	30
Foresta casuale - Random forest	33
Apprendimento automatico - Machine learning (ML)	34
5. AMBITI DI BERSAGLIO E METODOLOGIE DI CALCOLO APPLICATE	35
6. RISULTATI	40
RISULTATI GENERALI	40
AMBITI DI DETTAGLIO	41
Strade – traffico	41
Marciapiedi - passaggio	42
Parchi - occupazione	42
Parcheggi - occupazione	43
Classificazioni arbitrarie	44
7. PROCEDURA DI UTILIZZO DEGLI ELABORATI	45
PIANIFICAZIONE DEI CONTROLLI E GLI INTERVENTI	45
SUPPORTO AI TECNICI CHIAMATI ALLA VALUTAZIONE DELLE ALBERATURE	46
8. MIGLIORIE E AGGIORNAMENTO	47
MIGLIORIE	48
MIGLIORIE LEGATE ALL'USO DELLA CdV	48
9. ELABORATI	48



1. PREMESSA

I sottoscritti:

- dott. Giovanni Iezzi agronomo iscritto all'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali della provincia di Bergamo al n. 306, abilitato n° 0243 al Protocollo Areté®;
- dott. Massimo Ranghetti iscritto all'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali della provincia di Bergamo al n. 104;
- dott. Federico Pelucchi agronomo iscritto all'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali della provincia di Bergamo al n. 280, abilitato n° 0246 al Protocollo Areté®;
- dott. for. Adriano Prandelli iscritto all'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali della provincia di Brescia al n. 347S, abilitato n° 0011 al Protocollo Areté®;

hanno ricevuto incarico dal Committente di redigere la carta della vulnerabilità (d'ora in poi CdV). Tale elaborato ha obiettivo primario di fornire uno strumento di pianificazione basato sulle priorità di controllo delle alberature cittadine. La CdV è uno strumento prodromico alla redazione di un Piano di Gestione del Rischio Arboreo quale strumento di gestione delle infrastrutture verdi cittadine in un'ottica di mitigazione dei rischi. Tale strumento è stato redatto in conformità con le Classi di Bersaglio descritte nel Protocollo Areté® (d'ora in poi Protocollo).

IL PROTOCOLLO ARETÉ®

Il Protocollo Areté® è stato redatto dall'Associazione ARBORETE ETS per la Valutazione del Rischio Arboreo e definisce obiettivi, modalità e procedure operative per la valutazione delle condizioni di stabilità dell'albero e quindi del rischio connesso. Il campo di applicazione del Protocollo è declinato a tutti quei soggetti arborei per i quali sussiste o è prevedibile un'interazione con qualsiasi forma di manufatto o attività antropica che può essere svolta nell'area della loro possibile caduta. Il campo di applicazione peculiare si riferisce quindi agli alberi presenti nell'ambiente urbano, o comunque che possono interagire con la presenza dell'uomo o con le attività antropiche.

INQUADRAMENTO DELLA MATERIA – PERICOLO E RISCHIO

Quando si parla di rischio e pericolo spesso insorge una sovrapposizione terminologica. Le due parole esprimono concetti simili ma diversi, talora fra loro complementari, spesso confusi nel linguaggio comune. Infatti, il **pericolo** è la possibilità da parte di un oggetto o soggetto di causare danno, mentre il **rischio** è la probabilità che questo danno si verifichi, tenendo conto della frequenza e della gravità dell'evento. Riferendosi agli alberi, questi sono intrinsecamente il soggetto pericoloso in quanto in grado di esprimere fenomeni di cedimento, mentre i soggetti orbitanti nell'area di pericolo corrono il rischio di subire danno. Valutare il solo pericolo degli alberi è incompleto in termini di gestione, in quanto l'obiettivo è ridurre il rischio. Ciò si ottiene conoscendo anche la **vulnerabilità** dei luoghi potenzialmente coinvolti dall'eventuale



cedimento. Solo dall'interazione dei due fattori (Pericolo e Vulnerabilità) è possibile determinare il livello di Rischio e quindi prescrivere interventi di controllo o mitigazione.

IL RISCHIO E LA TOLLERABILITÀ¹

“L'unica certezza è che niente è certo” – Plinio il Vecchio

Rischiare significa esporsi alla possibilità di subire un danno per il fatto che un evento pericoloso si possa manifestare. Quindi al rischio è associabile il concetto di probabilità, come pure quello di incertezza circa il manifestarsi di un evento in grado di causare perdite. Il rischio arboreo si può considerare un rischio involontario; infatti, tutti passeggiano nei parchi o percorrono viali alberati nella totale inconsapevolezza del rischio connesso alla possibile caduta di alberi e, in caso si verificasse l'evento calamitoso, ne saranno coinvolti involontariamente. Per far fronte al pericolo (l'albero che può cadere) si possono adottare misure di previsione del momento in cui ciò potrà accadere (evitare di sostare sotto un albero quando tira forte vento), che di prevenzione del fenomeno (adottare idonee cure colturali per i nostri alberi). Se ne deduce che l'attività di gestione del rischio arboreo deve riguardare congiuntamente la valutazione del rischio connesso agli alberi, le modalità con cui esso può essere ridotto o limitato, le modalità con cui è possibile prevedere il suo manifestarsi (o le “tecniche di annuncio”), i piani di risposta a tali eventi e anche l'informazione di coloro che possono rimanere coinvolti a causa del suo manifestarsi per tutto il ciclo di vita del fenomeno, fino cioè al ripristino delle condizioni originarie.

È importante considerare la **numerosità** delle persone coinvolte dal rischio. Un albero pericoloso che vegeta all'interno di una foresta non merita particolare attenzione, mentre diverso è il caso se esso si trova nel giardino di un asilo o lungo un viale cittadino intensamente trafficato.

La **curva di Farmer** (curva di preferenza del rischio) mette in relazione la frequenza e la gravità degli eventi. Alcuni eventi, a cui siamo sottoposti frequentemente, hanno una modesta gravità. Esistono fonti di rischio meno frequente ma con conseguenze significative, come gli incidenti automobilistici. Infine, esistono i rischi che hanno una frequenza di accadimento molto bassa ma che producono gravi danni a molte persone e beni. Fra questi possiamo annoverare i terremoti, le eruzioni e in generali i disastri naturali. La curva ci permette quindi di rapportare le fonti di rischio con la loro gravità nonché di stabilire se il rischio è o meno accettabile. Nel grafico di cui sotto, tutto ciò che si colloca al di sopra della linea equipotenziale risulta inaccettabile e si deve cercare di ridurlo in modo tale che stia al di sotto della soglia.

Occorre chiarire bene quanto segue. **Il fatto che un rischio sia accettabile non implica di certo che l'evento negativo non si verificherà mai, ma solo che la relazione data dalla sua probabilità di verificarsi e l'intensità del danno è ritenuta ragionevolmente bassa e**

¹ Valutazione e gestione del rischio arbore – Manuale operativo, ARBORETE, a cura di Luigi Sani, edito da Gifor editrice 2020

quindi accettabile (d'altra parte è impossibile che l'improbabile non si verifichi mai). Il rischio così accettato assume quindi la natura di un **rischio residuale** ineliminabile, per lo meno se si vuole continuare a vivere in modo ragionevole e fino a che non saranno trovate nuove tecnologie di previsione e contrasto di quelle disponibili.

In luce dei rischi che si corrono più o meno inconsapevole si introduce il concetto di **tollerabilità del rischio** (ToR) che riguarda prendere decisioni in merito ai rischi che **dobbiamo** rifiutare, ai rischi che **vogliamo** correre e ai rischi che **possiamo** tollerare adottando delle misure di controllo appropriate.

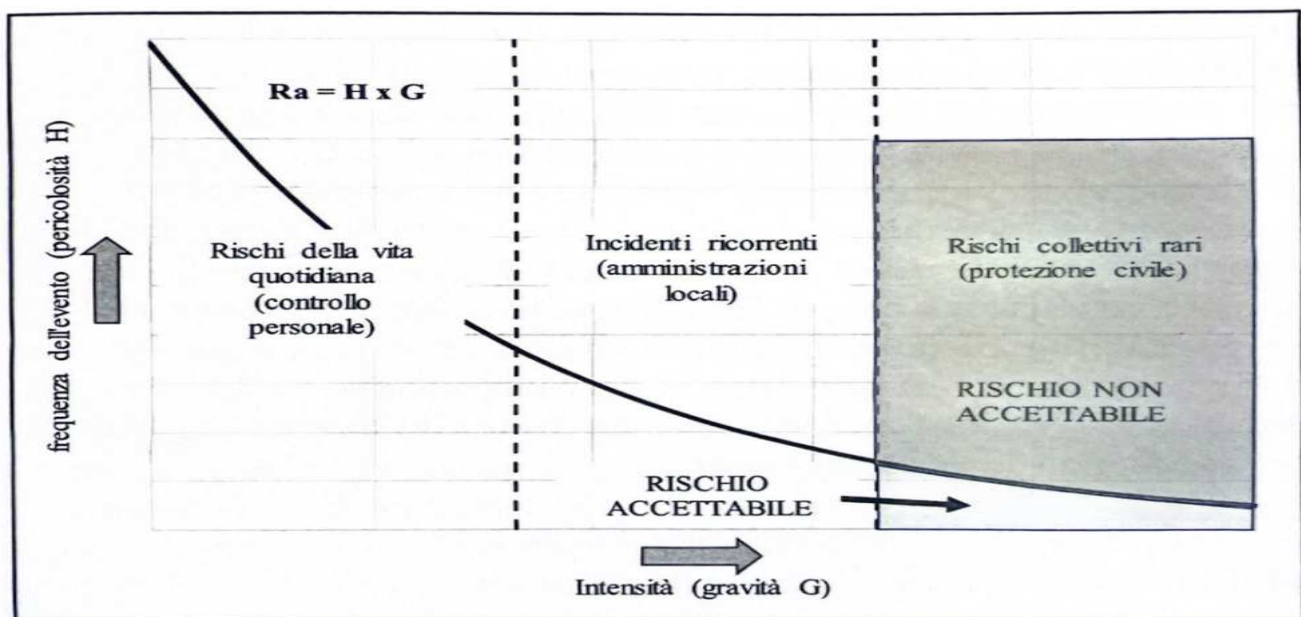


Figura 1 – Curva di Farmer – Fonte ¹

L'approccio Tor non esamina solo il livello di rischio in sé, ma definisce la sua accettabilità in relazione ai benefici che si ottengono correndo quel rischio e, non per ultimo, alle possibili modalità di riduzione di quel rischio, valutando in termini di costo proporzionati al beneficio ottenuto.

Per riferirsi al caso del rischio arboreo, diremo quindi che certamente gli alberi sono variamente pericolosi ma che la loro presenza, nonostante il pericolo, genera dei benefici molto rilevanti e quindi la loro conservazione è possibile (anzi caldeggiata), valutando il rischio e cioè la relazione che intercorre fra la loro pericolosità e i benefici che generano, tenuto conto dei possibili interventi di riduzione del pericolo che è possibile o, meglio, "ragionevole" eseguire.

In tutti i campi di valutazione del rischio, compreso quello arboreo, viene adottata la procedura **ALARP**, acronimo di "**As Low As Reasonably Practicable**" e che può essere tradotto in "**così basso da essere ragionevolmente praticabile**". Nel metodo ALARP, fra la zona di accettabilità certa e la zona di sicura inaccettabilità vi è una zona definita di **tollerabilità del rischio**. In tale zona il rischio viene affrontato ricorrendo alla miglior tecnologia ragionevolmente disponibile per ridurlo. Il passaggio fra la zona di inaccettabilità e quella di tollerabilità definisce una **soglia**



limite che è posta su un livello di un caso ogni 10.000. Mentre il passaggio fra la zona di tollerabilità e quella di accettabilità indica una **soglia obbiettivo** che è posta su un livello di un caso ogni 1.000.000.

I rischi tra le due soglie sono tollerabili, ovvero che le persone sono disposte a correre, in particolare in riferimento ai benefici che procurano¹.

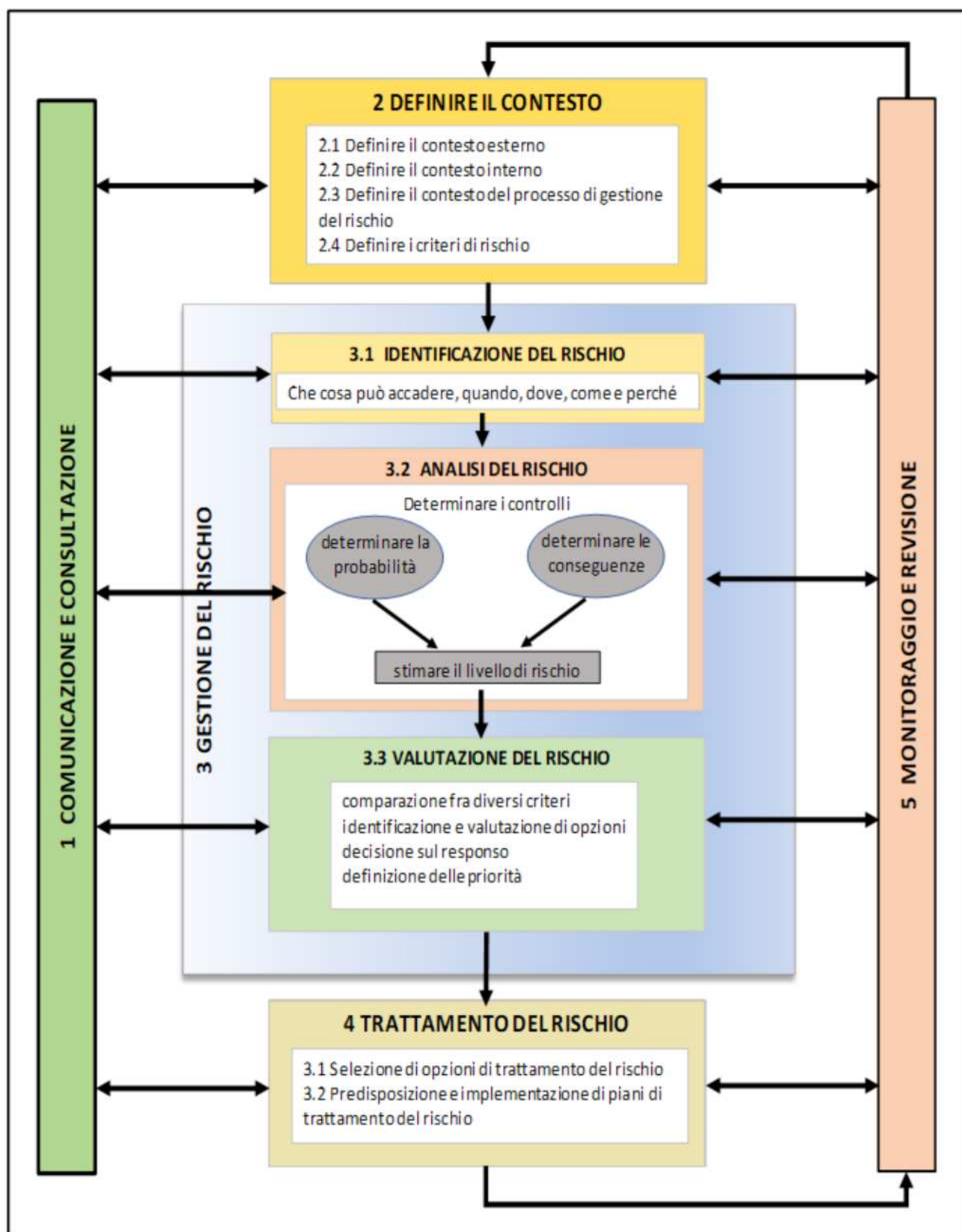
INQUADRAMENTO NORMATIVO – GESTIONE DEL RISCHIO E NORMA UNI ISO 31000¹

Ad oggi non esistono in Italia linee guida o norme che dettino specifiche procedure per la redazione di una CdV. In Italia la gestione dei rischi relativi agli eventi calamitosi è disciplinata dalla Legge n. 225 del 24.02.1992, che istituisce la Protezione Civile come sistema di competenze al quale concorrono le amministrazioni dello Stato, le Regioni, le Province, i Comuni e gli altri enti. Il Piano di Gestione del rischio che mettono in atto è costituito dalle seguenti attività:

- studio e previsione degli scenari di rischio;
- analisi del rischio consistente in una stima il più possibile quantitativa dei rischi;
- valutazione del rischio per la definizione della strategia di intervento;
- riduzione del rischio secondo interventi di prevenzione, protezione, mitigazione e diffusione dell'informazione;
- preparazione all'emergenza.

A livello europeo viene introdotta la Norma UNI ISO 31000 che definisce in modo chiaro il percorso procedurale da seguire (v. figura 3). Il processo di gestione del rischio prevede:

1. Comunicazione e consultazione;
2. Definizione del contesto;
3. Gestione del rischio;
4. Trattamento del rischio;
5. Monitoraggio e revisione.


 Figura 2 – Schema concettuale e processo di gestione del rischio – Fonte ¹

2. LA PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ NEL CONTESTO DEL RISCHIO

Quanto viene di seguito riportato è stato in parte estratto da “Valutazione e gestione del rischio arboreo – Manuale operativo, ARBORETE, a cura di Luigi Sani, edito da Gifor editrice 2020”

VULNERABILITÀ NEL CONTESTO ARBOREO

La vulnerabilità (V) indica il grado di perdita di uno o più elementi esposti (beni o persone) a un rischio che si verificano con una certa intensità. La vulnerabilità dipende quindi dalla tipologia di ciò che ha esposto al rischio o **fattore di contatto** (E) e dall'intensità del fenomeno o **fattore di danno** (I). $V = f(I;E)$. Quando si parla di rischio arboreo, i beni e/o le persone che sono esposte al rischio connesso alle possibili cadute dell'albero o di sue parti sono quelle che si trovano **nell'area di potenziale caduta**.

LA VULNERABILITÀ DEI LUOGHI SECONDO IL MODELLO PROPOSTO DAL PROTOCOLLO ARETÉ®

Area di potenziale caduta

Per area di potenziale caduta si intende quella porzione di territorio intorno all'albero che può essere interessata dagli effetti della sua possibile caduta. Si tratta di un dato di grande importanza per la valutazione del rischio, in quanto serve a prevedere gli effetti del cedimento.

Per alberi che si trovano su un terreno in pendenza e che possono rotolare verso valle, l'area potrebbe essere molto maggiore. Per alberi inclinati si deve considerare che la loro altezza sul piano del terreno e tanto più inferiore alla lunghezza quanto maggiore l'inclinazione, ma è a quest'ultima che si deve fare riferimento. L'inclinazione dell'albero può costituire, anche se in misura minore di quanto si pensa, un ulteriore elemento da tenere in considerazione perché permette di ridurre l'area di potenziale caduta, da un cerchio eccentrico ad uno spicchio col raggio rivolto nella direzione dell'inclinazione. In ogni caso l'area di potenziale caduta può essere aumentata, se si ritiene che la rottura dell'albero possa coinvolgere altri alberi, e può essere ridotta se vi siano manufatti o altri alberi che possono ostacolare la caduta, o impedirla.

Il fattore di danno

Nell'ambito del rischio arboreo il fattore di danno, cioè l'elemento che determina la gravità del rischio, è dato essenzialmente dalle dimensioni e dalla massa di ciò che può cadere e dalla lunghezza del tragitto che l'oggetto compie prima di colpire il bersaglio, perciò dalla velocità che assume. Si tratta di un aspetto appartenente semplice, perché il fattore di danno è funzione delle dimensioni

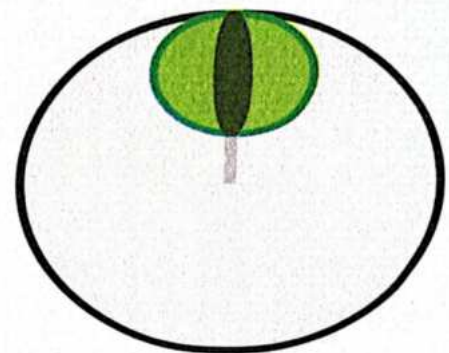


Figura 3 - L'area di caduta per un albero a forma piramidale e uno a chioma espansa con la stessa altezza è uguale, ma la probabilità di essere colpiti è diversa a causa delle diverse dimensioni

dell'albero, ma che è opportuno analizzare più in dettaglio, al fine di arrivare a una sua modellazione che risulti semplice ma efficace. Possono verificarsi, schematicamente, due cause di intensità significativa: la caduta di un ramo e la caduta di un albero intero.

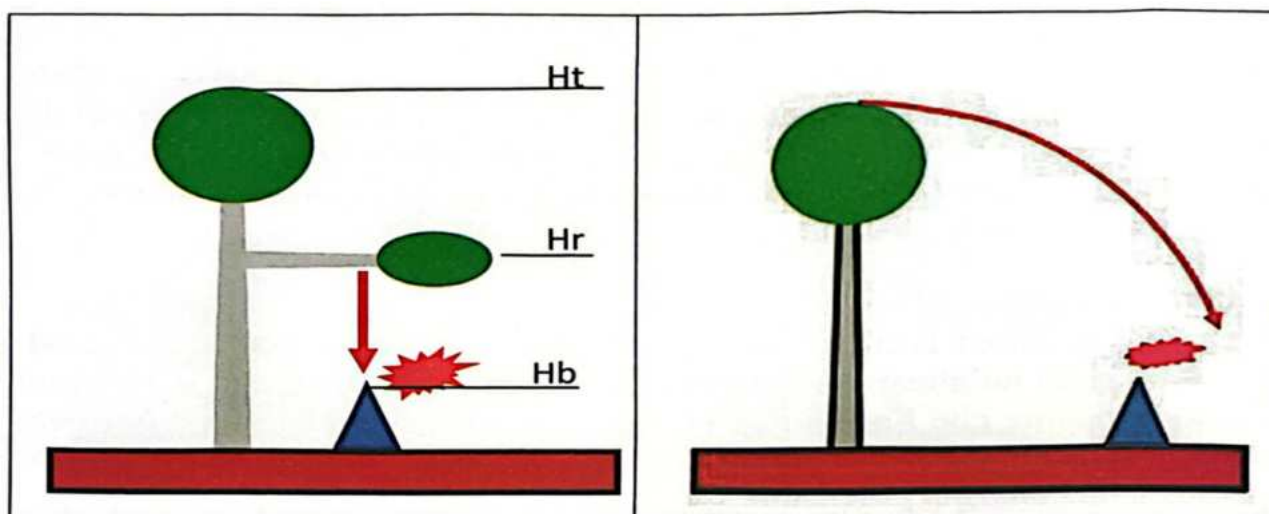


Figura 4 - Rottura di una branca a sinistra e dell'albero intero a destra – Fonte ¹

Il fattore di contatto

Il fattore di contatto e alla base della CdV e ci informa sul bersaglio e cioè su quali sono i soggetti, gli oggetti o le attività che subiranno l'attuarsi dell'evento pericoloso e che quindi possono subire un danno di qualsiasi natura. La valutazione del bersaglio, o meglio dei possibili bersagli, è un aspetto assai articolato, anche perché spesso non vi è un solo bersaglio ma diversi e di differente natura, per cui non è del tutto immediato se è opportuno riferirsi al principale fra quelli presenti o a più bersagli insieme. Sarà l'obiettivo del lavoro, da concordare con il committente, che dovrà definire i possibili bersagli da considerare, decidendo se valutarli tutti o riferirsi a quello/i più probabilmente colpito o a quello/i di maggiore importanza o valore. Quali possono essere quindi i bersagli (target) che si trovano nelle aree di potenziale caduta di un albero? Il bersaglio che ci interessa di più sono le persone che possono essere colpite dall'albero o sua parte in caduta. Si tratta di un bersaglio che può essere multiplo. Le persone possono avere comportamenti diversi rispetto all'albero, infatti alcune potrebbero sostare sotto di esso (panchina, fontanella, tavolo), e altre sostare solo da una frazione di tempo, che è funzione della velocità di spostamento (camminare, spostarsi in bicicletta o in automobile). In sostanza, l'impatto dell'albero sul bersaglio **persone** dipende in primo luogo dal tempo che le persone trascorrono sotto l'albero, e cioè se sono ferme o in movimento, e in quest'ultimo caso, a quale velocità si muovono. Nessun valutatore considera la strada, un marciapiede o anche un edificio, come un bersaglio in sé, ma solo in relazione alle persone che frequentarla. Pur tuttavia, i manufatti possono subire dei danni anche importanti da essere quindi considerati come bersagli per sé stessi. I luoghi in prossimità di alberi dove possono trovarsi molte persone sono quindi bersagli principali: le fermate dell'autobus, i passaggi pedonali, gli incroci, gli accessi etc. È importante valutare anche aspetti protettivi come una pensilina che può attutire la caduta di un ramo.



Qual è il momento in cui si deve valutare il bersaglio?

Sappiamo che la maggioranza dei cedimenti avviene in concomitanza con eventi meteorici intensi, in grado di attivare la rottura di tessuti legnosi. Se è così, appare plausibile e ragionevole che il bersaglio sia valutato in relazione al momento in cui il cedimento ha la maggior probabilità di verificarsi. Questo permette di stimare il rischio in modo più corretto e coerente con quanto potrà accadere, evitando di sovrastimare alcune situazioni che in realtà sarebbero assai meno rischiose. Per esempio, in un parco urbano è assai poco probabile che le persone si trovino a passeggiare in occasione di eventi meteorici intensi tali da provocare il cedimento, mentre molte persone si troveranno in macchina lunghi viali di grande percorrenza, per spostarsi e tornare a casa. In occasione dell'evento critico, quindi, gli alberi che si troveranno lungo i viali determinano un fattore di contatto più elevato, mentre quelli dei parchi estensivi, a parità di livello di pericolo e di dimensione, determinano un rischio minore. Perché verosimilmente non ci sarà nessuno nel parco quando tirerà un forte vento. Addirittura, una delle tecniche di mitigazione del rischio nei parchi prevede l'installazione di un anemometro, in modo tale che, al verificarsi di una certa testa di vento, le venga imposto l'evacuazione, cosa evidentemente impossibile lungo i viali e le strade.

Alcune distinzioni:

- **Bersagli fissi:** sono gli edifici, le infrastrutture e tutti i manufatti che si trovano saldamente sul terreno all'interno dell'area di potenziale dell'albero;
- **Bersagli mobili:** sono i bersagli in movimento e possono essere coinvolti nel cedimento di potenziale caduta dell'albero solo per una certa frazione di tempo;
- **Bersagli inamovibili:** sono tutte le infrastrutture saldamente infisse nel terreno e che non possono essere smontate senza che perdano la loro funzione;
- **Bersagli rimovibili:** sono i bersagli che possono essere ricollocati in un'altra posizione, magari all'esterno dell'area di potenziale caduta.

Pur cercando di essere diligenti, è possibile che alcuni bersagli non siano visibili al momento della valutazione. Per esempio, una piazza poco frequentata o una periferia adibita a parcheggio estensivo potrebbero essere interessati, una volta a settimana o anche occasionalmente, da un evento con elevata frequentazione come un mercato o una manifestazione culturale. Il professionista, non potendo conoscere il tipo di fruizione dell'area, non potrà altro che ricevere l'informazione dal committente. È questa, come vedremo, una delle funzioni della CdV.

Tasso di occupazione

Il concetto di tasso di occupazione si riferisce a un dato sito, occupato da parte delle persone, intesa come potenziali bersagli, vale a dire la quantità di tempo che un bersaglio si trova ad occupare all'interno dell'area di potenziale caduta. Nella stima del tasso di occupazione, si deve sempre considerare che esso può variare nel corso del tempo in particolare:

- **fra il giorno e la notte**, si pensi al traffico, cala sensibilmente e diventa trascurabile. Al minor tasso di occupazione notturna, che applica un rischio minore di subire danni, si associa tuttavia alla minor visibilità dell'albero, che amplifica il medesimo rischio;



- ***fra le ore del giorno***, per la variabilità dovuta alle esigenze e alle abitudini delle persone. Si pensi al traffico lungo i viali nelle ore di punta, ma anche alla maggior frequenza dei giardini di parchi nel pomeriggio all'uscita da scuola;
- ***in situazioni periodiche ma limitate***, come appunto i momenti di ingresso o uscita da scuola;
- ***fra i diversi giorni della settimana***, che è caratteristico dei parchi, chi sono frequentati molto di più non solo il pomeriggio ma soprattutto nei giorni prefestivi e festivi;
- ***nei diversi periodi dell'anno***, privilegiando le aree aperte nel periodo estivo piuttosto che d'inverno. In montagna il tasso sarà maggiore d'inverno ed estate mentre nelle stazioni balneari il tasso di occupazione stagionale vedrà invece un solo picco ma più pronunciato;
- ***in condizioni atmosferiche differenti***, in quanto l'occupazione all'aperto si riduce quando il tempo è meno invitante, salvo il caso delle strade dove le condizioni atmosferiche avverse sono non influenti o comunque influiscono meno sull'occupazione delle persone;
- ***in situazioni o eventi periodici o occasionali***, come quando un'area è interessata periodicamente da un evento tale da centrare molti bersagli.

Nell'ambito del Protocollo e quindi nella presente CdV, salvo diversi accordi contrattuali, si fa riferimento specifico solo ad alcune tipologie di bersaglio predefinite e standardizzate, di seguito indicate.

Metodo di valutazione del bersaglio

Il cedimento di un albero può avvenire sotto qualunque condizione meteorologica e ambientale ma vi sono delle situazioni che lo rendono più probabile di altre. Nella valutazione del bersaglio il Protocollo prescrive di riferirsi, secondo un criterio di ragionevolezza, al caso più probabile, cioè a quello che verosimilmente potrebbe accadere (in termini di target interessato) nel momento in cui è più probabile che si verifichi il cedimento della struttura arborea o di sua parte.

Il ricorso al caso peggiore possibile determina invece l'assunzione di un principio di precauzione, in ragione del quale si assume come possibile un caso ipotetico anche se largamente improbabile. Ciò determinerebbe l'eliminazione di tutti gli alberi e quindi la perdita dei benefici insostituibili ad essi connessi. L'applicazione del principio di precauzione implica la mancata applicazione del processo di Gestione del rischio, che si basa appunto sulla gestione dell'incertezza connessa alla presenza del rischio che si vuole contenere.

Valore del bersaglio

Il Protocollo parametrizza la valutazione del rischio in funzione della probabilità che il cedimento di un albero possa provocare la morte di una vita umana. Il valore statistico della vita umana (VASVU) è attualmente stabilito pari a € 3.000.000: ciò significa che un rischio pari a 1:1 assume tale valore.

- *il traffico veicolare;*
- *le persone che occupano stabilmente l'area di potenziale caduta;*
- *il passaggio dei pedoni e dei ciclisti al di sotto dell'area di potenziale caduta;*
- *il valore degli oggetti, dei manufatti, impianti e altro interessati dal possibile cedimento.*



Classi di bersaglio

Le classi definite dal protocollo sono 7 e si riferiscono in modo univoco al tasso di occupazione. La classe 1 indica un target presente 24 ore su 24 e fa riferimento al valore statistico della vita umana (VASVU). Le classi inferiori all'uno sono frazioni scalari di 10 in 10. Si riporta la seguente tabella:

TAB. 1 – CLASSI DI BERSAGLIO		
Classe	Tasso di riferimento	Ampiezza della classe
1	1:1	a 1:1
		da 1:5
2	1:10	a 1:5
		da 1:50
3	1:100	a 1:50
		da 1:500
4	1:1k	a 1:500
		da 1:5k
5	1:10k	a 1:5k
		da 1:50k
6	1:100k	a 1:50k
		da 1:500k
7	1:1M	a 500k
		da 1M

Tipologia di bersagli

I bersagli potenzialmente interessati dal cedimento dell'albero o di sua parte che vengono definiti nel Protocollo e quindi nella presente CdV sono:

- il traffico veicolare;
- le persone che occupano stabilmente l'area di potenziale caduta;
- il passaggio dei pedoni e dei ciclisti al di sotto dell'area di potenziale caduta;
- il valore del danno subito da manufatti, impianti e altro interessati dal possibile cedimento.

Traffico veicolare

Il bersaglio è determinato dalla presenza dei veicoli nell'area di pericolo sotto chioma, ovvero il più gravoso dei risultati fra il tempo di percorrenza del tratto di strada, ampio quanto le dimensioni medie dell'albero², o la porzione di albero "pericolosa", e il tempo di arresto necessario. Quest'ultimo, è in relazione alla velocità di riferimento del veicolo, data dalla tipologia di strada tenuto conto del coefficiente di attrito. La procedura è quindi la seguente:

- attribuzione della strada ad una delle 5 categorie (strada vicinale, comunale, provinciale, statale, autostrada) e assegnazione del relativo valore per la velocità di riferimento (es. strada comunale: 50km/h);

² L'albero può incidere sulla strada in diverse direzioni e quindi si tiene conto della media tra le due dimensioni incidenti: La sua altezza (che incide in caso di direzione di cedimento parallelo all'asse viario) e l'ampiezza della chioma (che incide nel caso il cedimento avvenga perpendicolarmente).



- stima o misura dell'ampiezza dell'area pericolosa, qui intesa come media tra altezza e ampiezza dell'albero o la lunghezza della branca pericolosa, in metri;
- stima o misura del numero di auto che passano sulla strada ogni giorno, e attribuzione della corrispondente classe di bersaglio.
- Attribuzione della classe secondo la tabella nr. 2.

Con i dati sopra indicati è possibile calcolare il numero di auto necessarie per raggiungere un'occupazione costante durante tutto il giorno, tenuto conto di un numero medio di passeggeri per veicolo uguale a 1,33. Tale valore corrisponde alla soglia di probabilità 1:1 e quindi alla soglia della classe 1. Le classi successive sono determinate dividendo di volta in volta per 10 tale valore, fino alla classe 7, cui è associata la probabilità inferiore a 1:1.000.000.

Passaggio di pedoni e ciclisti

Il bersaglio determinato dalla presenza dei pedoni dipende dal tempo di percorrenza del tratto di strada, ampio quanto le dimensioni medie dell'albero, assumendo come velocità di riferimento del pedone 4 km/h. I ciclisti sono più veloci ma, essendo meno attenti, sono assimilati ai pedoni. La procedura è quindi la seguente:

- stima dell'ampiezza dell'area pericolosa come per il traffico veicolare;
- stima del numero di pedoni o ciclisti che passano ogni giorno nell'area di possibile cedimento dell'albero o della branca;
- Attribuzione della classe secondo la tabella nr. 1.

Occupazione

L'occupazione delle persone nell'area interessata dal possibile cedimento dell'albero o della sua parte più significativa è calcolata mediante confronto con la tabella nr. 3. Si tratta di stimare per quanto tempo l'area sotto l'albero è occupata da una o più persone nel corso della giornata.

Beni materiali

L'attribuzione della classe al bersaglio costituito dai beni materiali o manufatti è definita se si considera:

- stima del costo di ricostruzione o del valore di esistenza o comunque del valore economico del bene danneggiabile dal cedimento;
- confronto con la tabella nr. 4 e attribuzione della relativa classe di bersaglio.

Valutazione dei bersagli multipli

Allorquando è plausibile che il rischio di danno connesso al cedimento coinvolga un numero maggiore di persone rispetto all'unità, o un insieme di danni superiore al VASVU (oggi € 3.000.000), siamo in presenza di Bersagli multipli. Il Rischio di Danno in tal caso è calcolato relativamente alle persone che occupano o transitano nell'area di potenziale caduta o al maggior valore dei beni potenzialmente coinvolti. Se è probabile che possano venire coinvolte n. persone, si esprime questa

³ Definito attraverso una media dei tassi espressi nel documento: Comunicati Stampa Anci. Mobilità sostenibile – Ricerca ANCI: “nelle città serpenti di auto ‘vuote’, ma cala inquinamento”. Luglio 8, 2016



relazione come (xn) B1: ciò significa che il bersaglio si riferisce non a una persona ma a n. e, se si calcola il valore del rischio, deve essere moltiplicato per n. Parimenti, se il possibile danno determina un costo di € 6.000.000, si esprime tale relazione come (x2) B1. Il Livello di Rischio rimane determinato dalla terna di valori (Bersaglio B1, Impulso e Probabilità di cedimento), mentre la presenza di bersagli multipli condiziona la Gestione del Rischio e, conseguentemente, la tipologia degli interventi di Trattamento da prescrivere.

CLASSI DI BERSAGLIO DI RIFERIMENTO

Albero modello

I tipi di bersaglio riferiti al passaggio di persone o veicoli sono riferiti al tempo di permanenza sotto l'area di pericolo definita dalle dimensioni dell'albero. Nella CdV si è voluto considerare un unico albero modello con dimensioni definite al fine di uniformare i valori di passaggio rilevati. Il riferimento delle tabelle di seguito riportate, è quindi un albero ritenuto di media grandezza rispetto ai popolamenti arborei cittadini con altezza di 16 m e ampiezza di chioma di 10 m. Questo determina una dimensione media di 13 m. Le seguenti tabelle, conformi al Protocollo, sono state rielaborate sulla base dell'albero modello.

Tabelle di riferimento bersagli

TAB. 2 - NUMERO DI PEDONI-CICLISTI / GIORNO				
Velocità		km/h	4	
		m/s	1,1	
Ampiezza area pericolosa		m	13	
Tempo di percorrenza dell'area pericolosa		s	11,7	
N° pedoni per occupazione costante		n°/ora	308	
N° pedoni per occupazione costante		n°/giorno	7385	
Classe	Tasso di riferimento	Ampiezza della classe		N. pedoni-ciclisti / giorno
1	1:1	a 1:1	a:	7385
		da 1:5	da:	1477
2	1:10	a 1:5	a:	1477
		da 1:50	da:	148
3	1:100	a 1:50	a:	148
		da 1:500	da:	15
4	1:1k	a 1:500	a:	15
		da 1:5k	da:	1,5
5	1:10k	a 1:5k	a:	1,5
		da 1:50k	da:	0,15
6	1:100k	a 1:50k	a:	0,15
		da 1:500k	da:	0,01
7	1:1M	a 500k	a:	0,01
		da 1M	da:	0,01

**TAB. 3 - NUMERO DI VEICOLI / GIORNO**

Numero medio persone per veicolo		1,3		Velocità di riferimento dell'auto (km/h; m/s)				
Dimensioni albero		13		30	50	70	90	110
Classe	Tasso di riferimento	Ampiezza della classe		8,3	13,9	19,4	25,0	30,6
1	1:1	a 1:1	a:	42604	46895	33497	26053	21316
		da 1:5	da:	8521	9379	6699	5211	4263
2	1:10	a 1:5	a:	8521	9379	6699	5211	4263
		da 1:50	da:	852	938	670	521	426
3	1:100	a 1:50	a:	852	938	670	521	426
		da 1:500	da:	85	94	67	52	43
4	1:1k	a 1:500	a:	85	94	67	52	43
		da 1:5k	da:	9	9	7	5	4
5	1:10k	a 1:5k	a:	9	9	7	5	4
		da 1:50k	da:	0,9	0,9	0,7	0,5	0,4
6	1:100k	a 1:50k	a:	0,9	0,9	0,7	0,5	0,4
		da 1:500k	da:	0,09	0,09	0,07	0,05	0,04
7	1:1M	a 500k	a:	0,09	0,09	0,07	0,05	0,04
		da 1M	da:	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02

TAB. 4 - OCCUPAZIONE STABILE DI PERSONE

Numero persone				1,0	
Classe	Tasso di riferimento	Ampiezza della classe		Tempo di permanenza nell'area esposta al pericolo (riferito a una persona)	
1	1:1	a 1:1	a:	24	ore/giorno
		da 1:5	da:	5	ore/giorno
2	1:10	a 1:5	a:	5	ore/giorno
		da 1:50	da:	29	minuti/giorno
3	1:100	a 1:50	a:	29	minuti/giorno
		da 1:500	da:	3	minuti/giorno
4	1:1k	a 1:500	a:	3	minuti/giorno
		da 1:5k	da:	2	minuti/settimana
5	1:10k	a 1:5k	a:	2	minuti/settimana
		da 1:50k	da:	0,9	minuti/mese
6	1:100k	a 1:50k	a:	0,9	minuti/mese
		da 1:500k	da:	1	minuti/anno
7	1:1M	a 500k	a:	1	minuti/anno
		da 1M	da:	0,5	minuti/anno

**TAB. 5 - VALORE DEL BENE ESPOSTO O DEL DANNO SUBITO**

Classe	Tasso di riferimento	Ampiezza della classe		Valore massimo riferito al VASVU (valore statistico della vita umana)
1	1:1	a 1:1	a:	3.000.000,00 €
		da 1:5	da:	600.000,00 €
2	1:10	a 1:5	a:	600.000,00 €
		da 1:50	da:	60.000,00 €
3	1:100	a 1:50	a:	60.000,00 €
		da 1:500	da:	6.000,00 €
4	1:1k	a 1:500	a:	6.000,00 €
		da 1:5k	da:	600,00 €
5	1:10k	a 1:5k	a:	600,00 €
		da 1:50k	da:	60,00 €
6	1:100k	a 1:50k	a:	60,00 €
		da 1:500k	da:	6,00 €
7	1:1M	a 500k	a:	6,00 €
		da 1M	da:	3,00 €

3. FINALITÀ E OBIETTIVI DELLA CdV

La CdV è uno strumento di zonizzazione del territorio. La sua redazione può essere eseguita a diversi livelli di approfondimento. Nella fase preliminare di redazione di un Piano di Gestione del Rischio Arboreo, la CdV può diventare uno strumento di grande contenuto informativo, dove sono identificati, con accuratezza variabile secondo l'estensione del territorio analizzato, tutti i bersagli sensibili alla caduta degli alberi e, per ciascuno di essi, ne è attribuita l'importanza mediante l'assegnazione di una classe come indicato nel capitolo precedente.

Bisogna specificare quanto segue riguardo la carta della vulnerabilità:

1. La CdV è lo strumento "zero" per la valutazione arborea su ampia scala nonché per la redazione e attuazione di un Piano di Gestione del Rischio Arboreo ma, come si specifica nel seguente paragrafo, **non è un piano di gestione del rischio**;
2. La CdV è uno strumento in evoluzione. Infatti, essendo una carta di zonizzazione, la stessa dovrà essere aggiornata sulla base delle modifiche urbanistiche e territoriali (formazione di nuove aree frequentate, ordinanze di polizia locale per il cambio dei limiti di velocità, realizzazione di nuove aree edificabili, etc).

4. ACQUISIZIONE E METEODOLOGIA ANALISI DEI DATI

ACQUISIZIONE DEI DATI

I dati che sono stati raccolti ai fini della redazione della CdV rientrano in due tipologie: dati topografici-territoriali e dati statistici.

Dati topografici-territoriali

- **Database Geo-Topografico (DBT):** il DBT è una banca dati geografica costituita da informazioni territoriali digitali che rappresentano e descrivono gli oggetti topografici del territorio e nel loro insieme rappresentano la cartografia di base. I contenuti principali del DBT riguardano: strade, ferrovie, ponti, viadotti, gallerie, edifici e pertinenze, manufatti edilizi, corsi d'acqua naturali e artificiali, con relativi alvei, laghi, dighe, opere idrauliche, reti elettriche, cascate, altimetria, cave e discariche, coperture vegetali suddivise in boschi, pascoli, colture agricole, verde urbano, aree prive di vegetazione. Ogni oggetto è costituito da una componente cartografica e una tabella attributi, a cui si aggiungono la componente altimetrica ed eventuali altre informazioni. Il DBT viene realizzato in collaborazione con gli enti locali per avere un riferimento cartografico unitario e omogeneo per tutti i comuni, le Province, la Regione e gli altri enti ed i professionisti, per organizzare un Sistema Informativo Territoriale (SIT) regionale in cui confluiscono i dati tematici e i piani dei diversi enti e settori. Il DBT è la base idonea per la pianificazione comunale dei PGT e per altri strumenti di pianificazione;

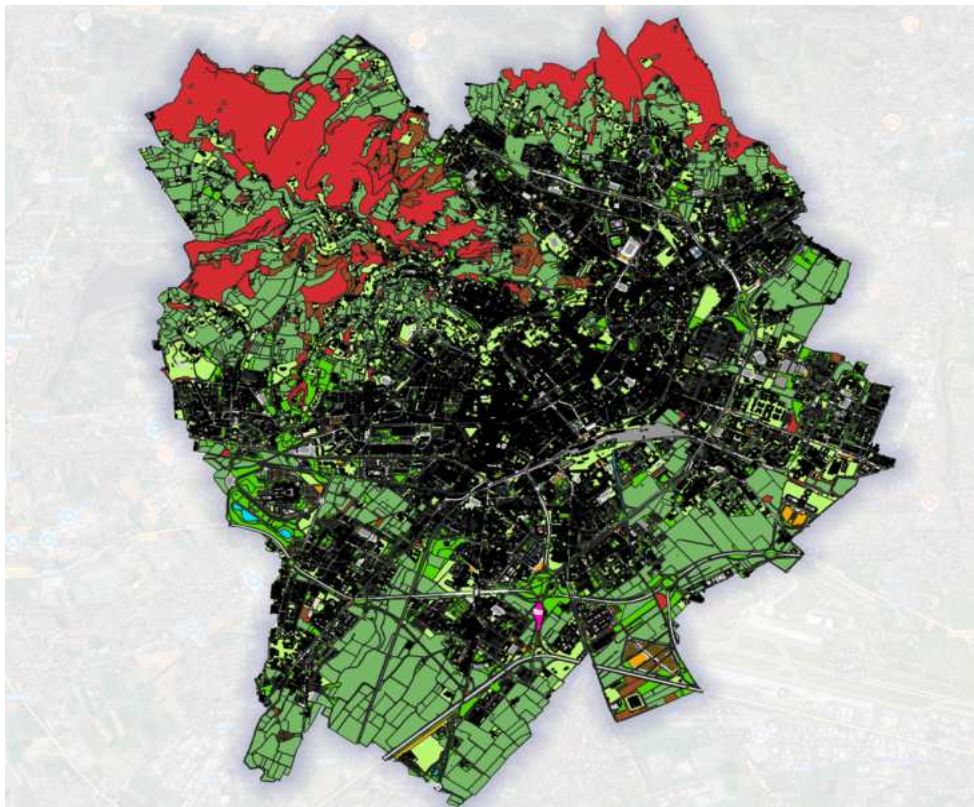


Figura 5 - Estratto DBT Comune di Bergamo elaborato Qgis

- Monitoraggio dei flussi veicolari - Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS):** il PUMS uno strumento di pianificazione strategica che, in un orizzonte temporale di medio-lungo periodo (10 anni), sviluppa una visione di sistema della mobilità urbana (preferibilmente riferita all'area della Città metropolitana, laddove definita), proponendo il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità ambientale, sociale ed economica attraverso la definizione di azioni orientate a migliorare l'efficacia e l'efficienza del sistema della mobilità e la sua integrazione con l'assetto e gli sviluppi urbanistici e territoriali. Per il PUMS del Comune di Bergamo il monitoraggio dei flussi è stato concentrato in 2 soli giorni feriali: giovedì 17 febbraio e martedì 22 febbraio. Nel complesso sono stati utilizzati 28 dispositivi radar, dai quali sono state ricostruite 52 sezioni stradali.



Figura 6 - Aree di monitoraggio del flusso di traffico veicolare – PUMS Comune

- Database aree verdi:** tramite l'applicativo Greenspaces⁴ (di seguito indicato come G.S.) è stato possibile reperire tutte le aree verdi comunali classificate secondo il recente Piano del Verde del Comune di Bergamo. Le aree verdi recepite sono state classificate secondo quanto riportato nel Piano del Verde.
- Ubicazione delle lanterne semaforiche;**
- Monitoraggio flussi Orto Botanico di Bergamo;**



Figura 7 - Estratto aree verdi Comune di Bergamo elaborato Qgis

⁴ GreenSpaces è un software integrato e georeferenziato per l'organizzazione e la documentazione efficiente delle attività di manutenzione e cura del verde urbano (<https://www.r3gis.com/it/greenspaces>).

- **Volo LIDAR (Light Detection and Ranging):** il LIDAR è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner composto da un trasmettitore (essenzialmente un laser), da un ricevitore (costituito da un telescopio) e da un sistema di acquisizione dati. La peculiarità del sistema è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad un'elevata risoluzione;
- **DTM e DSM:** derivanti dal volo LIDAR, il DTM e il DSM sono modelli digitali del terreno e delle superfici. Il modello digitale del terreno (DTM) è la rappresentazione della distribuzione delle quote del terreno privo di elementi antropici o vegetazionali, il modello digitale delle superfici (DSM), invece, rappresenta la quota di tutti gli elementi che si trovano sul terreno;

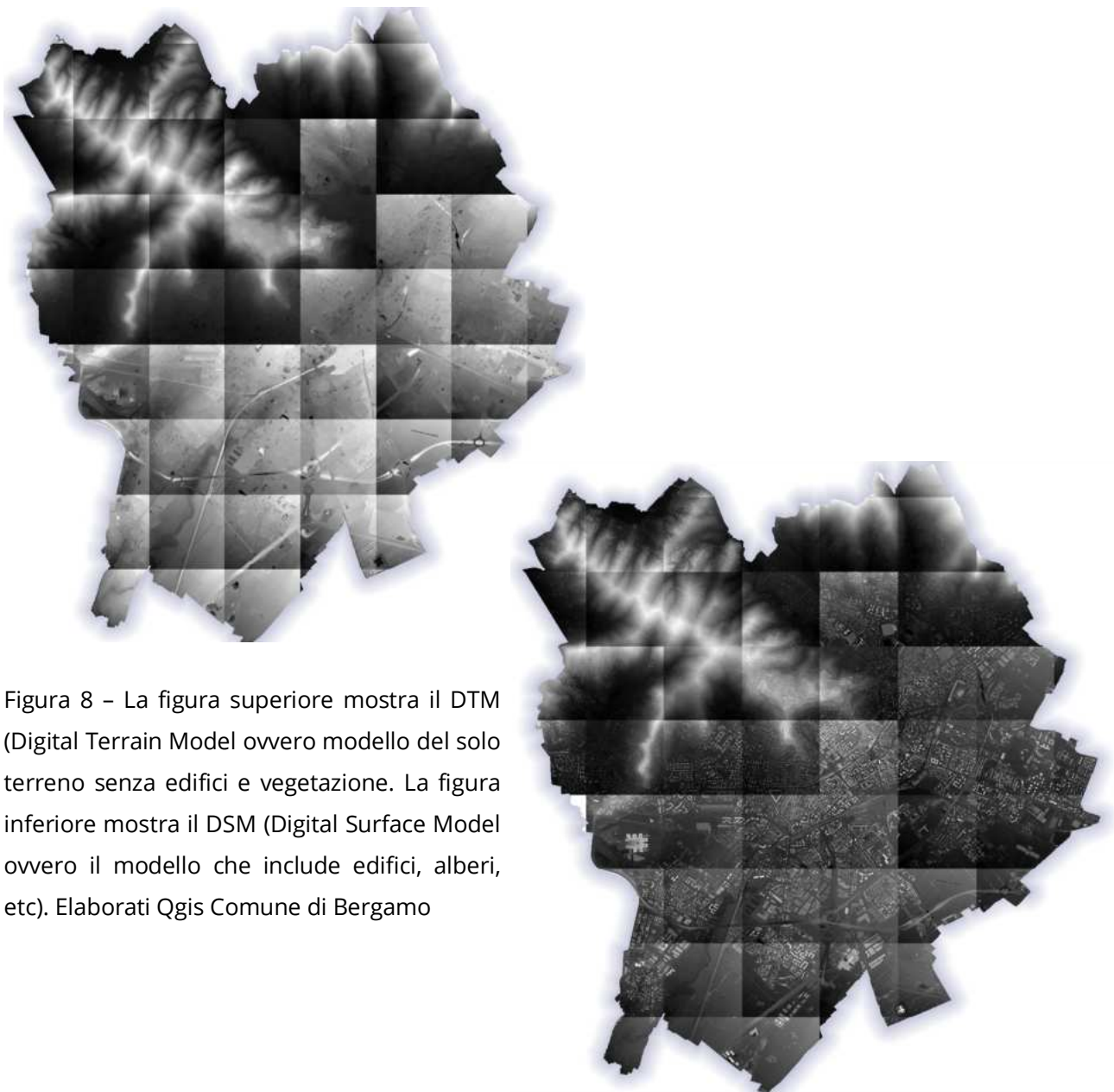


Figura 8 – La figura superiore mostra il DTM (Digital Terrain Model ovvero modello del solo terreno senza edifici e vegetazione. La figura inferiore mostra il DSM (Digital Surface Model ovvero il modello che include edifici, alberi, etc). Elaborati Qgis Comune di Bergamo

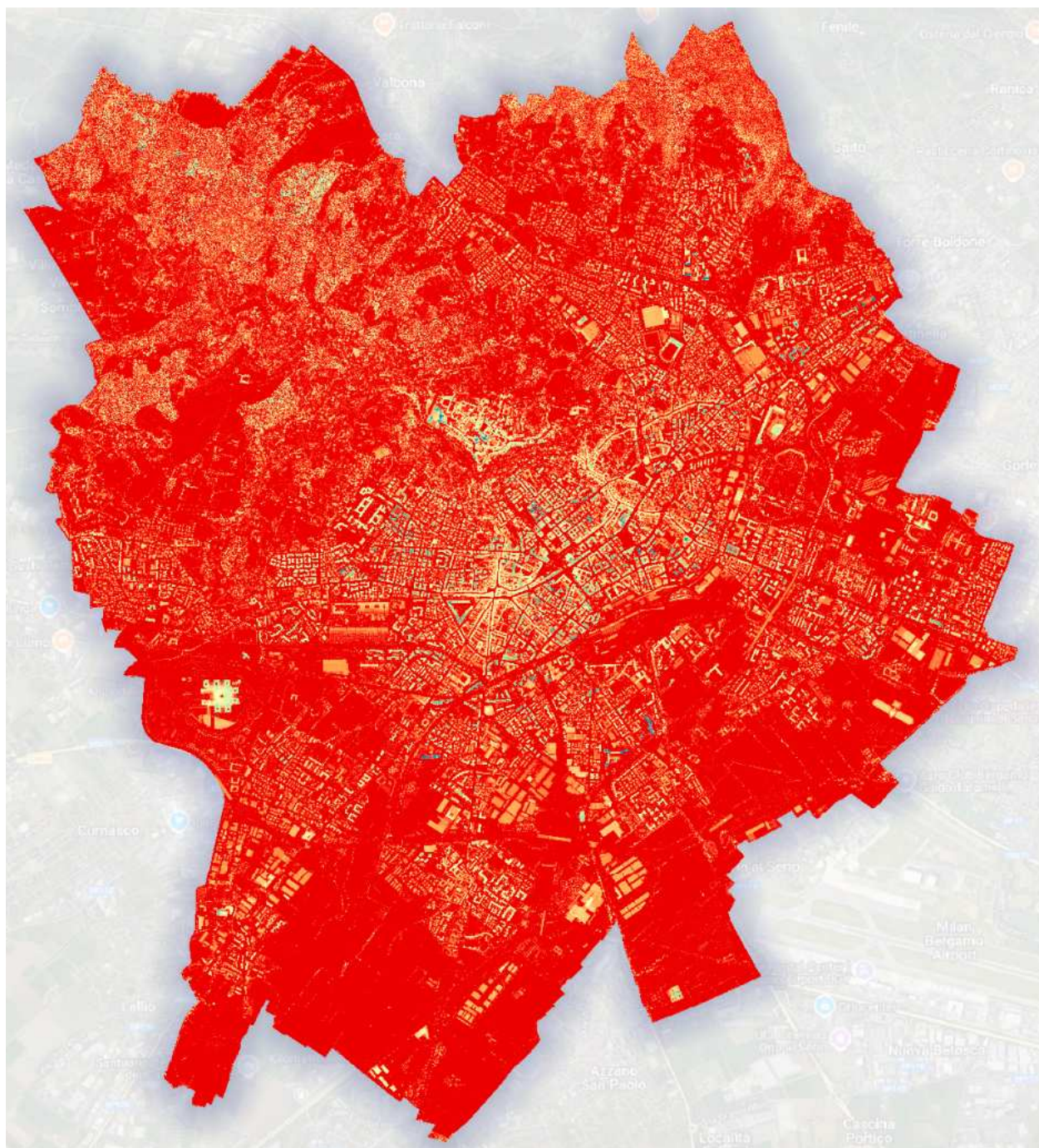


Figura 9 – La figura mostra l'nDSM (Normalized Digital Surface Model ovvero l'altezza relativa degli oggetti rispetto al suolo). Elaborato Qgis



- **Ubicazione delle fermate dei mezzi pubblici;**
- **Tracciato delle ciclabili;**
- **Numero di residenti per civico e posizione attività commerciali.**

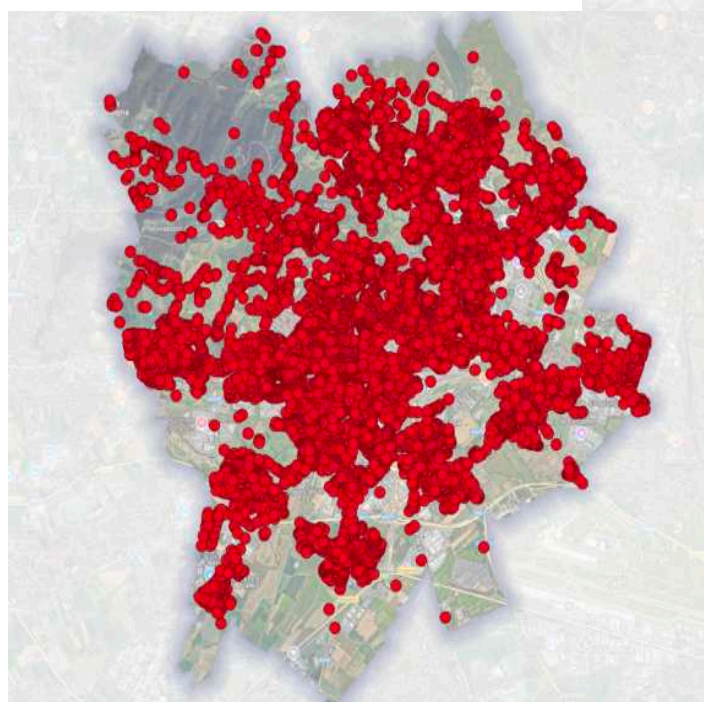
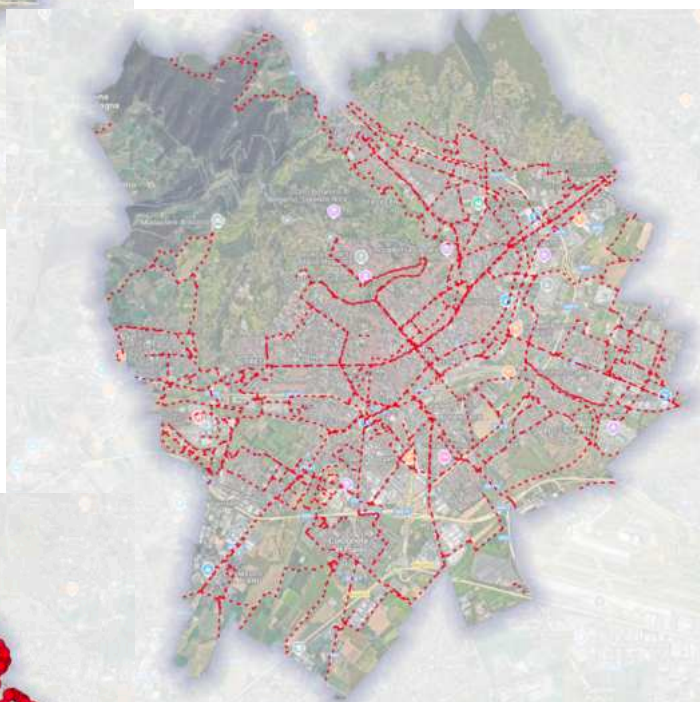
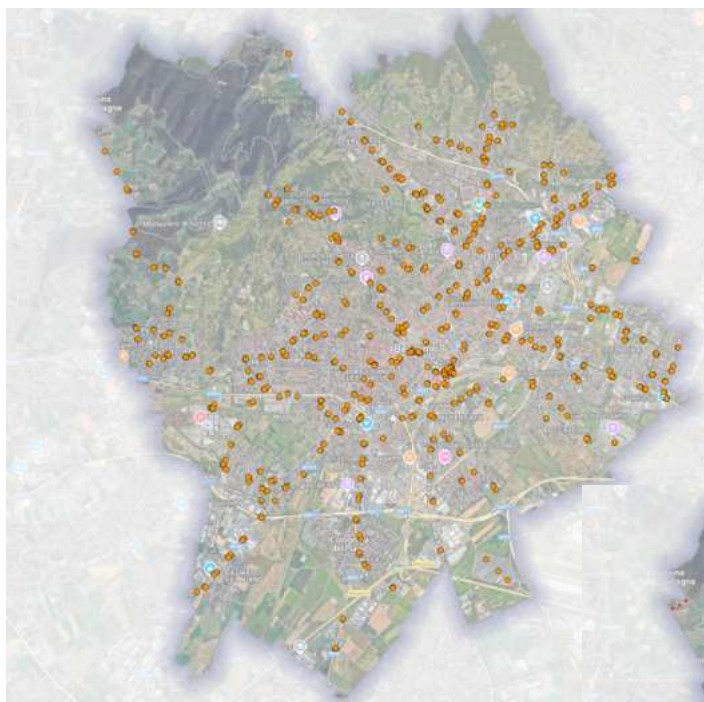


Figura 10 - In ordine:

- ubicazione delle fermate dei mezzi pubblici;
- tracciato delle ciclabili;
- numero di residenti per civico.

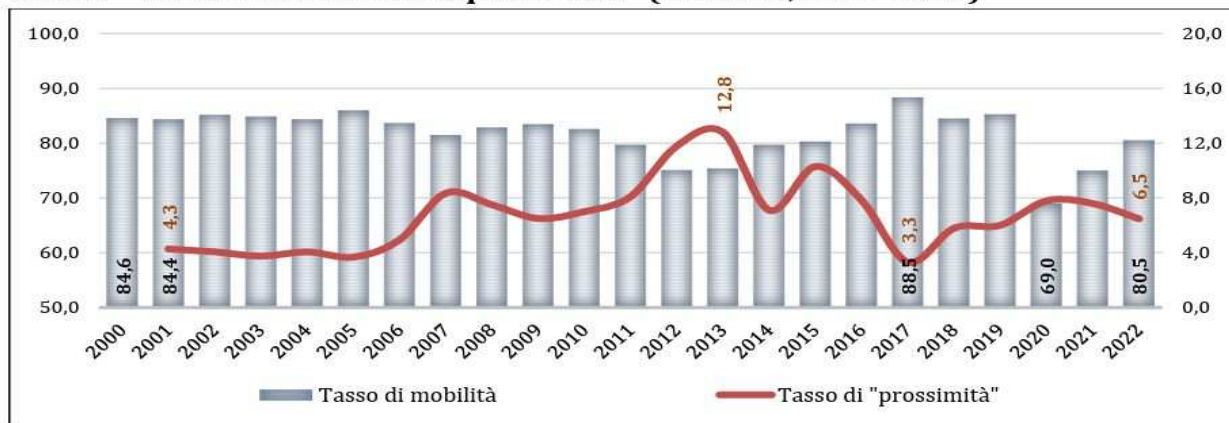
Estratti elaborato Qgis



Dati statistici – mobilità

Si riportano di seguito alcuni grafici del "20° Rapporto sulla mobilità degli italiani. Il passato, il presente, il futuro 27 novembre 2023, redatto da ISFORT e CNEL e con il sostegno di FNC, con il supporto scientifico di AGENS e ASSTRA:

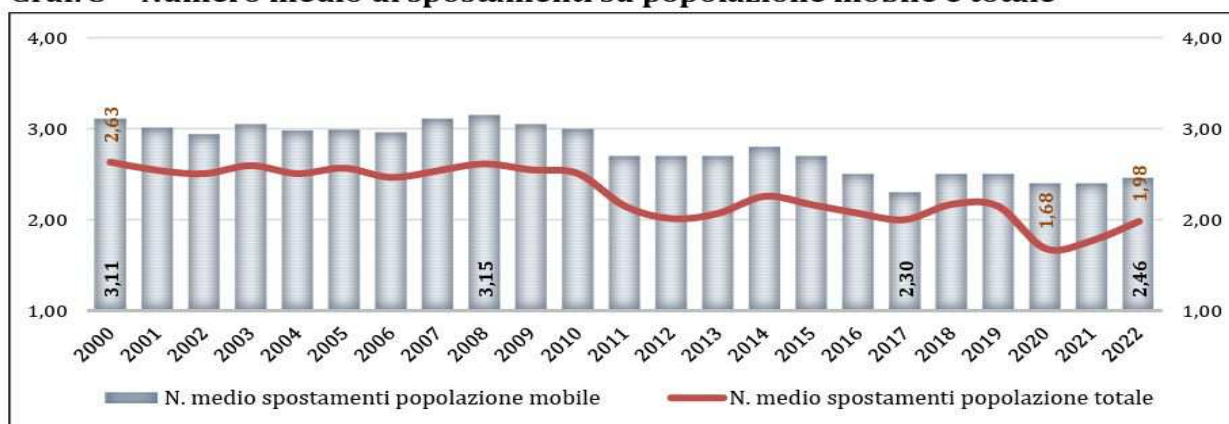
Graf. 2 – Tasso di mobilità e di prossimità¹ (valori %, 2000-2022)



¹ Individui che hanno effettuato esclusivamente spostamenti a piedi di durata inferiore a 5 minuti.

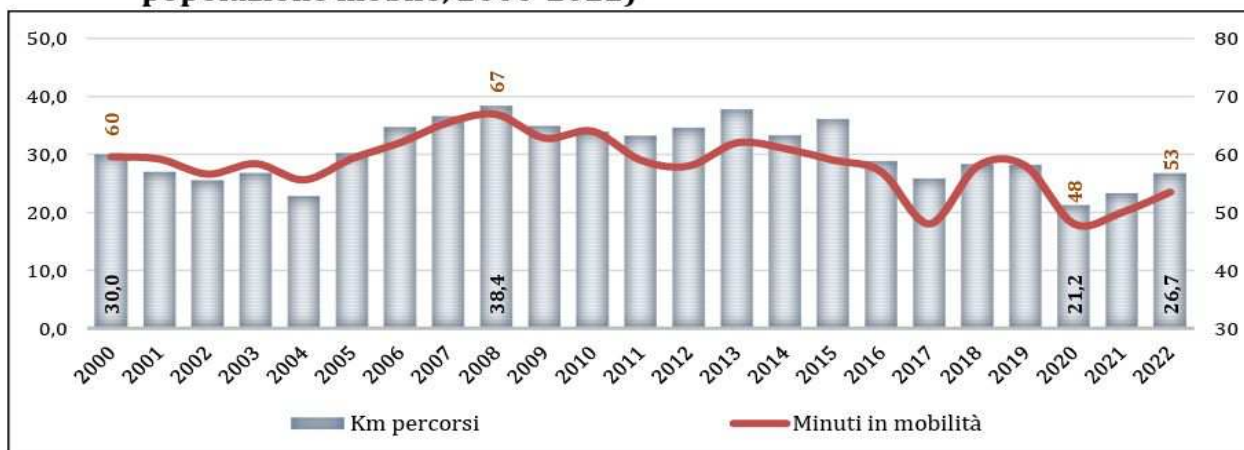
Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

Graf. 3 – Numero medio di spostamenti su popolazione mobile e totale



Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

Graf. 4 – Distanza percorsa (km) e tempo (minuti) in mobilità (valore pro-capite su popolazione mobile, 2000-2022)

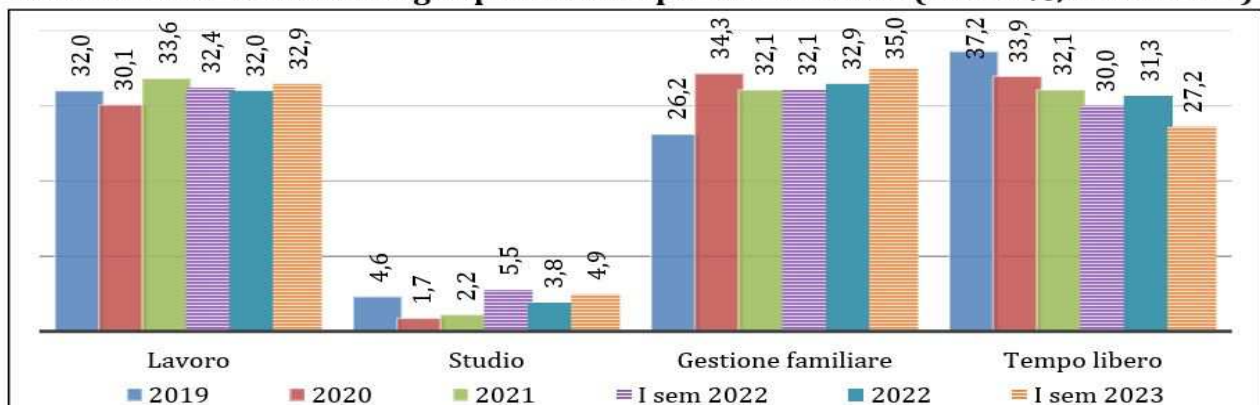


Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani



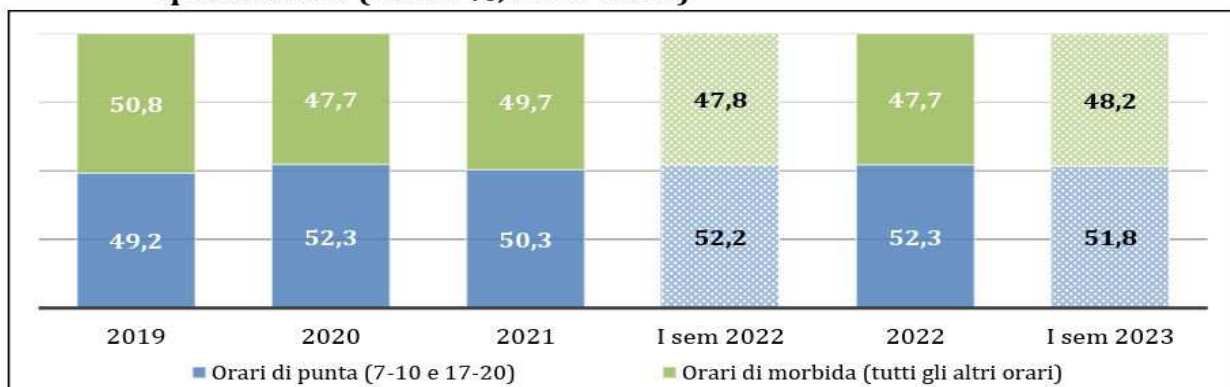
Dal grafico 2, 3 e 4 (v. immagini precedenti) si evince che il tasso di mobilità generale (mobilità intesa come spostamenti di qualsiasi natura) oscilla tra l'80% e l'85%, con una riduzione di circa 4 punti percentuali tra il 2000 e il 2022; il picco dell'indicatore si è registrato nel 2017 (88,5%) (Graf. 2). Il numero medio di spostamenti della popolazione mobile si è attestato poco oltre la soglia di 3 nella prima decade del nuovo millennio e poi è diminuito oscillando poco sotto la soglia di 2,5 (Graf. 3). Chi esce di casa fa circa 2,5 spostamenti al giorno (es. casa → lavoro → spesa → casa) **Sommando anche chi non si muove, ogni italiano effettua in media 1,98 spostamenti al giorno.** Il valore minimo si è registrato nel 2017 (2,3) ovvero nell'anno del picco del tasso di mobilità. Per questa ragione il 2017 può essere definito come l'anno della mobilità distribuita", dove il modello di mobilità è caratterizzato da una quota più elevata di cittadini giornalmente in movimento che effettuano singolarmente meno spostamenti, più brevi e di minor durata; le percorrenze medie pro-capite giornaliere della popolazione mobile sono aumentate fino ai 38 km del 2008, coerentemente con il dato sui passeggeri*km, e poi si è avviato un processo di riduzione che ha portato l'indicatore negli ultimi anni ad oscillare nella forchetta dei 25-30 km (ad eccezione del fisiologico picco negativo di 21,2 km registrato nel 2020, anno del Covid) (Graf. 4);

Graf. 49 – Distribuzione degli spostamenti per motivazione (valori %, 2019-2023)



Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

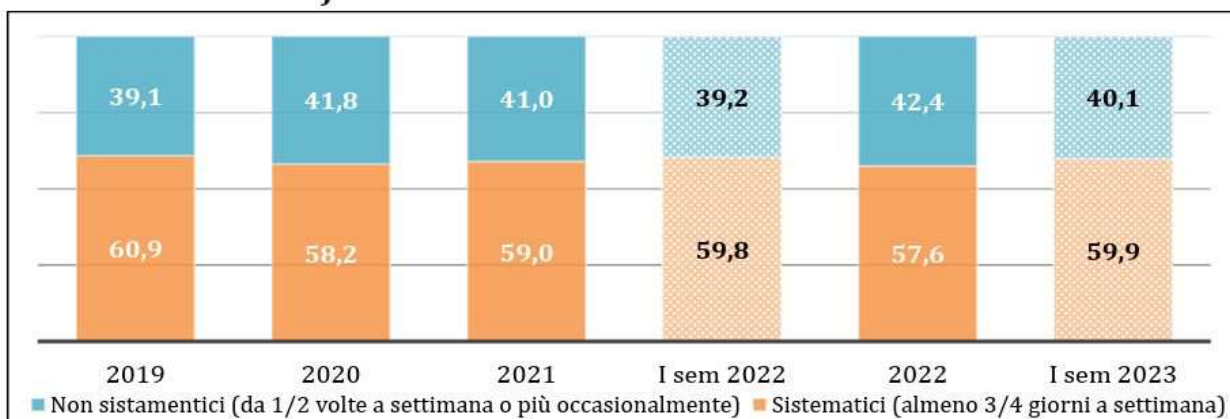
Graf. 50 – Distribuzione degli spostamenti per fasce orarie di inizio dello spostamento (valori %, 2019-2023)



Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

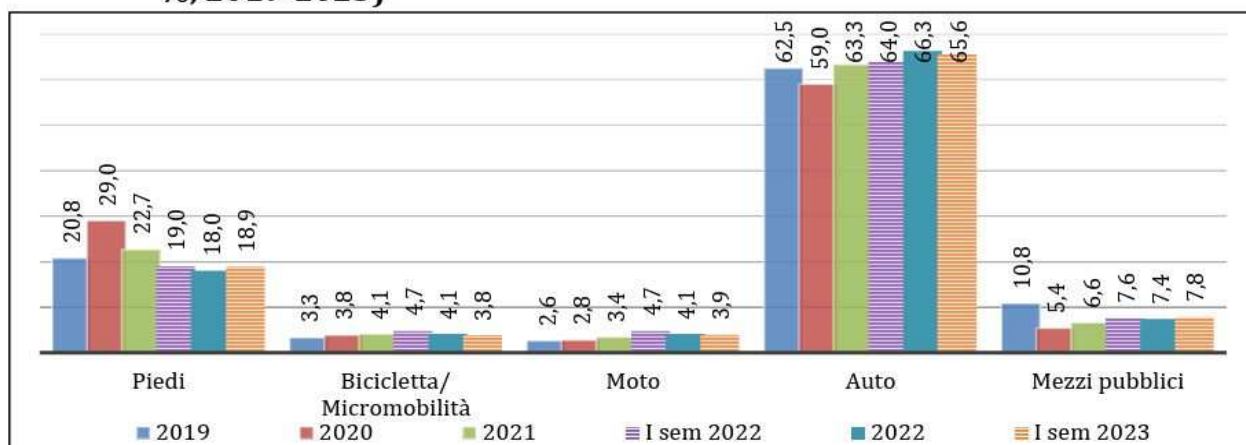


Graf. 51 – Distribuzione degli spostamenti per regolarità di frequenza (valori %, 2019-2023)



Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

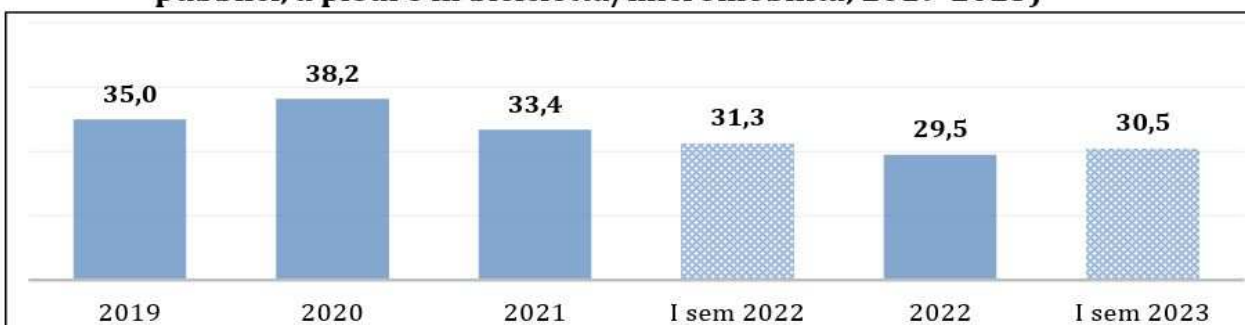
Graf. 52 – Distribuzione degli spostamenti per modo di trasporto utilizzato¹ (valori %, 2019-2023)



¹ Nei mezzi privati sono compresi l'auto privata con e senza passeggeri, i mezzi agricoli, l'auto a noleggio e altri mezzi privati. Nei mezzi pubblici sono compresi tutti i mezzi di trasporto collettivi, urbani (autobus urbano, metro, tram ecc.) ed extraurbani (autobus di lunga percorrenza, treno locale e di lunga percorrenza, aereo, traghetto/nave ecc.), nonché altri mezzi, anche individuali, ma a disponibilità pubblica (taxi, NCC, car sharing, piattaforme car pooling). Gli spostamenti si riferiscono sia al trasporto a compensazione economica (Tpl in generale), sia a quello interamente sul mercato (es. treni AV, segmenti del trasporto pubblico su gomma di lunga percorrenza).

Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

Graf. 53 – La dinamica del tasso di mobilità sostenibile (% di spostamenti con mezzi pubblici, a piedi e in bicicletta/micromobilità, 2019-2023)



Fonte: Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani



Dati statistici – frequentazione parchi urbani

È ragionevole stimare che la **frequentazione media per un parco urbano** possa variare tra 20 a 40 minuti per visita (tempo di permanenza), da 1 a 3 volte a settimana per persona nei parchi di quartiere. Meno frequenti invece sono le visite per parchi grandi e distanti, anche se il tempo di permanenza sarà maggiore. Solo il 30-50% dei residenti di un quartiere frequenta regolarmente (almeno 1 volta a settimana) un parco di prossimità. Il restante 50-70% lo frequenta sporadicamente (meno di 1 volta al mese) o mai. È quindi ragionevole stimare che nei centri urbani europei, circa il 35-45% della popolazione urbana usi regolarmente aree verdi pubbliche. Ovviamente il dato è più alto per bambini, anziani e persone con cani.

Dati statistici – attività quotidiane ISTAT

Tramite **ISTAT** sono state analizzate due indagini, *"I tempi della vita quotidiana: lavoro, conciliazione, parità di genere e benessere soggettivo"* e *"Attività quotidiane"*. In particolare, si riporta di seguito una tabella contenente le attività quotidiane e il tempo medio dedicato.

TAB. 6 – ESTRATTO DATI ISTAT "ATTIVITÀ QUOTIDIANE"

Tipo dato	tempo medio dedicato a determinate attività dalla popolazione di 15 anni e più (durata media generica in hh.mm)					
Sesso	totale					
Periodo temporale di riferimento	giorno medio settimanale					
Seleziona periodo	2013					
Classe di età	15-24 anni	25-44 anni	45-64 anni	65 anni e più	15 anni e più	
Tipo attività						
Dormire, mangiare e altra cura della persona	11,35	11,10	11,04	12,31	11,31	
Dormire	8,38	8,17	8,10	9,20	8,32	
Mangiare	1,55	1,57	1,58	2,08	2,00	
Altra cura della persona	1,02	0,56	0,56	1,03	0,59	
Lavoro retribuito	0,53	3,54	3,08	0,10	2,23	
Istruzione e formazione	3,25	0,15	0,01	0,01	0,29	
Scuola e università	3,21	0,11	0,00	0,00	0,27	
Altri studi e corsi	0,04	0,03	0,01	0,00	0,02	
Lavoro familiare	1,00	3,08	3,41	3,52	3,15	
Lavoro domestico	0,41	1,57	2,56	3,14	2,26	
Cucinare lavare e riordinare le stoviglie	0,19	0,56	1,18	1,27	1,07	
Pulizia e riordino della casa	0,16	0,42	0,58	1,00	0,49	
Lavare, stirare e altra cura del vestiario	0,02	0,10	0,17	0,18	0,13	
Giardinaggio e cura degli animali	0,04	0,06	0,18	0,25	0,14	
Costruzione e riparazioni	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	
Gestione della famiglia	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	
Acquisti di beni e servizi	0,11	0,24	0,34	0,33	0,28	
Cura di familiari conviventi	0,07	0,47	0,12	0,05	0,20	



Cura di bambini conviventi (tra 0 e 17 anni)		0,05	0,46	0,09	0,01	0,18
Cura di adulti conviventi		0,02	0,01	0,03	0,04	0,03
Volontariato, aiuti, partecipazione sociale e religiosa		0,08	0,10	0,20	0,28	0,17
Volontariato		0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Aiuti a persone di altre famiglie		0,02	0,05	0,11	0,13	0,09
Partecipazione sociale e religiosa		0,03	0,03	0,06	0,11	0,06
Tempo libero		5,22	3,53	4,26	6,12	4,48
Vita sociale, attività culturali e riposo		2,07	1,25	1,23	1,59	1,38
Vita sociale		1,30	0,50	0,43	0,54	0,53
Attività culturali		0,07	0,05	0,04	0,02	0,04
Riposo		0,30	0,31	0,36	1,03	0,40
Sport e attività all'aperto		0,44	0,29	0,30	0,35	0,32
Arti, passatempi, informatica, comunicazione e giochi		0,53	0,22	0,19	0,20	0,24
Arti e passatempi		0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Informatica		0,32	0,15	0,12	0,05	0,14
Giochi		0,19	0,04	0,06	0,12	0,09
Lecture, tv, radio		1,38	1,38	2,13	3,18	2,14
Lecture		0,10	0,11	0,17	0,26	0,17
Tv		1,22	1,25	1,54	2,49	1,55
Radio		0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Spostamenti finalizzati		1,35	1,30	1,19	0,47	1,16
Spostamenti per la cura della persona		0,04	0,05	0,04	0,02	0,04
Spostamenti da/per il lavoro		0,08	0,33	0,26	0,01	0,20
Spostamenti per istruzione e studio		0,35	0,02	0,00	0,00	0,05
Spostamenti per lavoro familiare		0,06	0,21	0,22	0,19	0,19
Spostamenti per volontariato		0,02	0,02	0,05	0,08	0,05
Spostamenti per tempo libero		0,40	0,26	0,21	0,16	0,24
Altri spostamenti		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo non specificato		0,02	0,01	0,02	0,01	0,02

Della tabella sopra riportata, si sottolinea il tempo dedicato al giardinaggio e alle costruzioni (che spesso avvengono in giardino). Per tali attività si rileva un **tempo medio di 16 minuti giorno di presenza in giardino**.

Dati statistici – tipologie, frequenze di utilizzo e tempistiche relative ai parcheggi

I parcheggi delle autovetture non vengono tutti utilizzati con lo stesso tasso di frequenza. Parcheggi in zone residenziali e produttive vengono utilizzati maggiormente rispetto a parcheggi di centri sportivi e aree fieristiche. Si considerano infatti le seguenti frequenze (f_t) di utilizzo:



- f_t pari a 1 → parcheggi frequentati tutto il giorno (residenziali e insediamenti produttivi);
- f_t pari a 0,3 → parcheggi frequentati in alcune ore del giorno (campi sportivi);
- f_t pari a 0,1 → parcheggi frequentati saltuariamente (parcheggio fiera).

È inoltre ragionevole stimare che una persona, una volta uscita da un'autovettura parcheggiata, impieghi al massimo 3 minuti per allontanarsi dal veicolo e dall'area di parcheggio.

Dati statistici – distributori di carburante

Rapporto tra autovetture e distributori: secondo un'elaborazione dell'Osservatorio Autopromotec basata su dati ACI, UNEM e del Ministero dello Sviluppo Economico aggiornati a ottobre 2021, in Italia ci sono circa 1.755 autovetture per ogni distributore di carburante. Questo rapporto è ottenuto dividendo il numero totale di autovetture circolanti (circa 39.755.536) per il numero di impianti di distribuzione attivi (22.654). Se consideriamo che non tutte le 1.755 autovetture associate a un distributore si riforniscono quotidianamente e ipotizziamo che un'auto faccia rifornimento in media una volta alla settimana, possiamo stimare che circa 250 veicoli si riforniscano presso un singolo distributore ogni giorno (<https://www.autopromotec.com/it/In-Italia-circolano-1-755-autovetture-per-ogni-impianto-di-distribuzione-di/a672> e svariati altri articoli inerenti testate di settore).

Dati statistici – altezza degli edifici e conflitto con gli alberi

È ragionevole stimare che gli edifici con un'altezza inferiore ai 6 metri siano maggiormente esposti a gravi danni in caso di ribaltamento di alberi, mentre gli edifici più alti, nella maggior parte dei casi, subirebbero danni di lieve entità, poiché l'albero tenderebbe a strusciare e ad appoggiarsi sulla facciata senza impatti violenti.

Dati statistici – frequentazione dei giardini scolastici e universitari

I giardini scolastici non sono solo spazi ricreativi, ma rappresentano ambienti educativi fondamentali. È ormai noto che l'integrazione di spazi verdi nella didattica promuove lo sviluppo di competenze sociali, tecniche e personali, favorisce l'apprendimento esperienziale e stimola la responsabilità e l'apprezzamento per la natura tra gli studenti. Ovviamente gli spazi verdi non vengono utilizzati da tutte le scuole allo stesso modo. Infatti, scuole dell'infanzia e scuole primarie utilizzano maggiormente questi spazi (lunghi intervalli, sport e lezioni all'aperto) rispetto a scuole secondarie di 1° e 2° grado ove gli spazi verdi vengono frequentati nei brevi intervalli e sono solo punti di ingresso e uscita dalla struttura scolastica. Diverso invece per le università, infatti sebbene le aree verdi non vengano utilizzate durante le lezioni, sono anche uno spazio di aggregazione e di grande utilizzo da parte degli studenti.

Dati statistici – albero modello

L'albero modello preso in considerazione nelle elaborazioni che seguiranno presenta dati biometrici medi. Infatti, l'albero ha una **superficie di 160 m²** equivalente a 16 metri di altezza per 10 di larghezza.



METODOLOGIE ADOTTATE PER L'ANALISI DEI DATI

La ragionevolezza nell'interpretazione dei dati

"I modelli statistici non si giudicano solo in base all'adattamento, ma anche in base alla ragionevolezza delle loro ipotesi e all'interpretabilità dei loro parametri." — Gelman et al., Bayesian Data Analysis

La ragionevolezza rappresenta un criterio fondamentale nella valutazione delle decisioni umane e scientifiche, basato su principi comunemente accettati e su una metodologia condivisa. Già nel XIV secolo, il filosofo francescano Guglielmo di Ockham ha posto le basi del pensiero scientifico moderno, introducendo quello che sarà noto come il rasoio di Ockham: un criterio metodologico secondo il quale, nella spiegazione dei fenomeni, è preferibile evitare ipotesi superflue o eccessivamente complesse, in assenza di evidenza empirica. Questo principio, che incarna una forma di razionalità e ragionevolezza teorica, è tuttora applicato nella selezione e valutazione dei modelli statistici. La statistica bayesiana – che prende il nome da Thomas Bayes, autore di un articolo pubblicato postumo nel 1763 – si distingue dalla statistica classica perché, oltre a basarsi sui dati osservati, incorpora anche informazioni a priori, ovvero conoscenze o ipotesi formulate prima dell'osservazione dei dati. Tali informazioni vengono combinate con l'evidenza empirica attraverso il Teorema di Bayes, consentendo un aggiornamento coerente delle probabilità assegnate alle ipotesi via via che nuovi dati diventano disponibili. Oggi la statistica bayesiana costituisce una componente essenziale in molti ambiti applicativi: dal machine learning alla medicina (diagnosi probabilistiche, valutazione di test), dalla ricerca scientifica (quando servono stime probabilistiche credibili) alla statistica ambientale, demografica e all'econometria, in particolare nei processi di decision making in contesti caratterizzati da elevata incertezza. Di seguito si elencano e descrivono le metodologie utilizzate per elaborare i dati di cui sopra.

Analisi deduttive

Non tutte le analisi effettuate sono basate su modelli statistici come quelli sopra illustrati. Infatti, in alcuni casi si è ricorso ad analisi deduttive, ovvero guidate da procedimenti razionali nonché supportate da ragionevolezza e conoscenza degli ambiti territoriali.

Analisi di regressione

L'analisi di regressione è una tecnica che calcola la relazione stimata tra una variabile dipendente e una o più variabili esplicative. Con l'analisi di regressione, è possibile definire la relazione tra le variabili scelte e prevedere i valori in base al modello. L'analisi di regressione utilizza un metodo di stima specificato, una variabile dipendente e una o più variabili esplicative per creare un'equazione che stima i valori per la variabile dipendente.



Figura 11 - Analisi deduttive

Stima Kernel di densità - Kernel density estimation (KDE)

La stima Kernel di densità è un modo non parametrico per stimare la funzione di densità di probabilità di una variabile casuale. A differenza dei metodi tradizionali dell'istogramma, che possono essere sensibili alla larghezza e al posizionamento del bin, KDE fornisce una stima uniforme della funzione di densità. Questa tecnica è ampiamente utilizzata in statistica e analisi dei dati per visualizzare la distribuzione dei punti dati in modo continuo, consentendo una migliore interpretazione e comprensione dei modelli sottostanti.

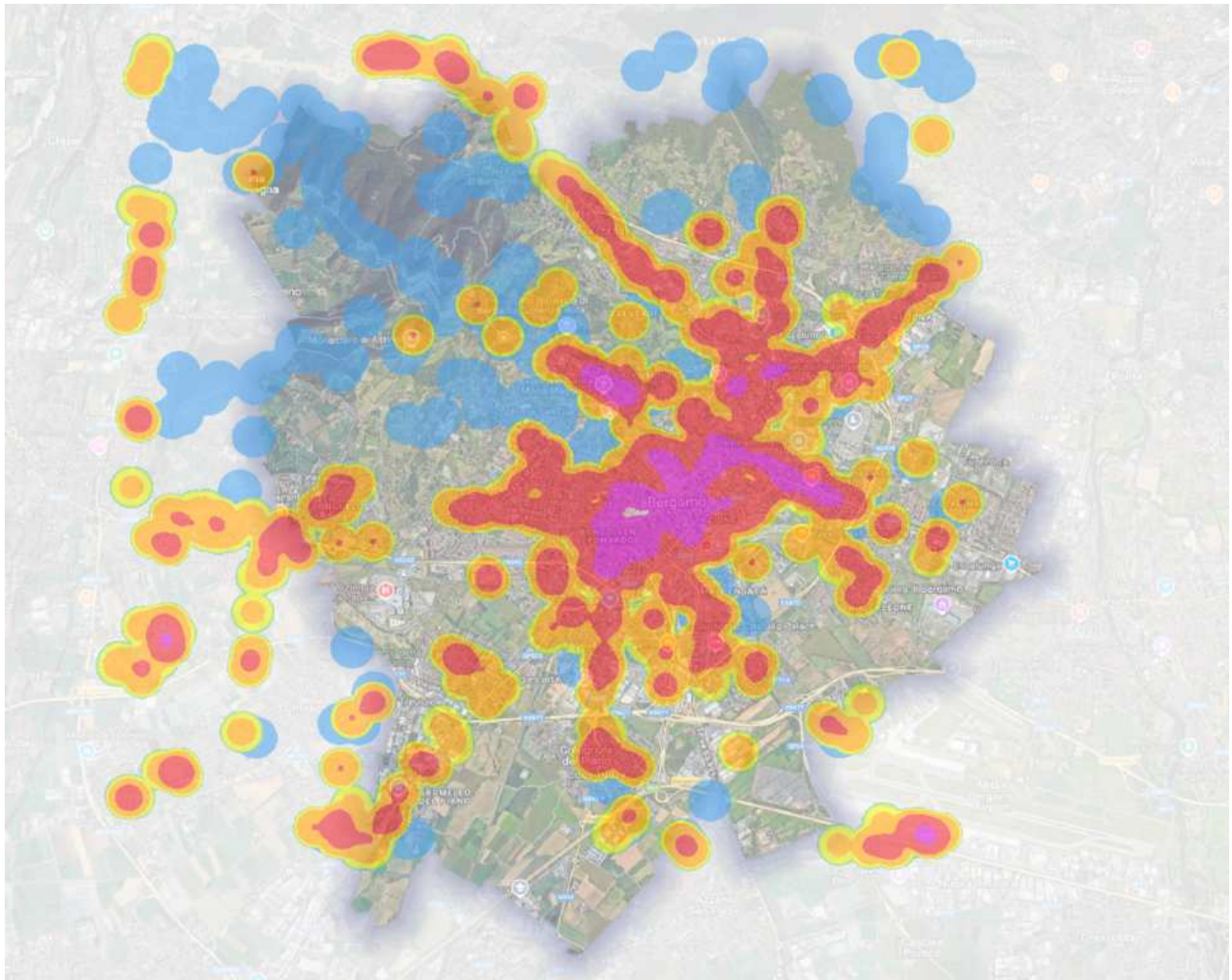


Figura 12 - KDE eseguita sugli esercizi commerciali, estratto elaborato Qgis

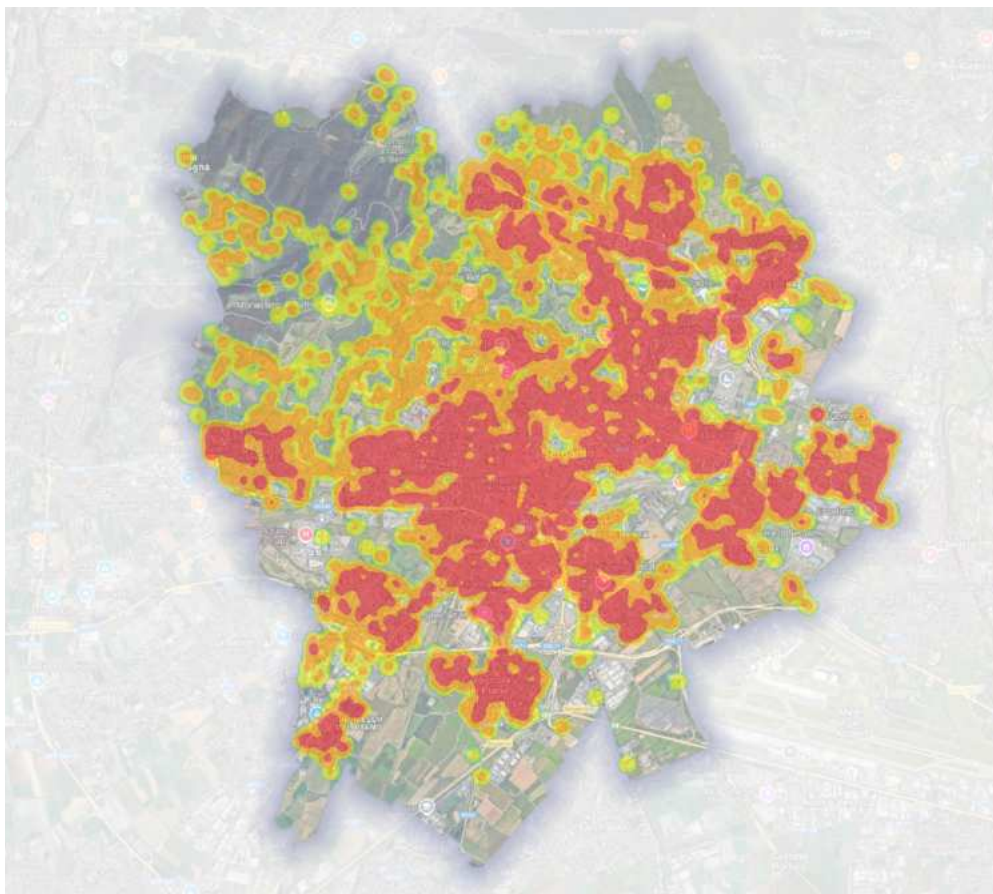
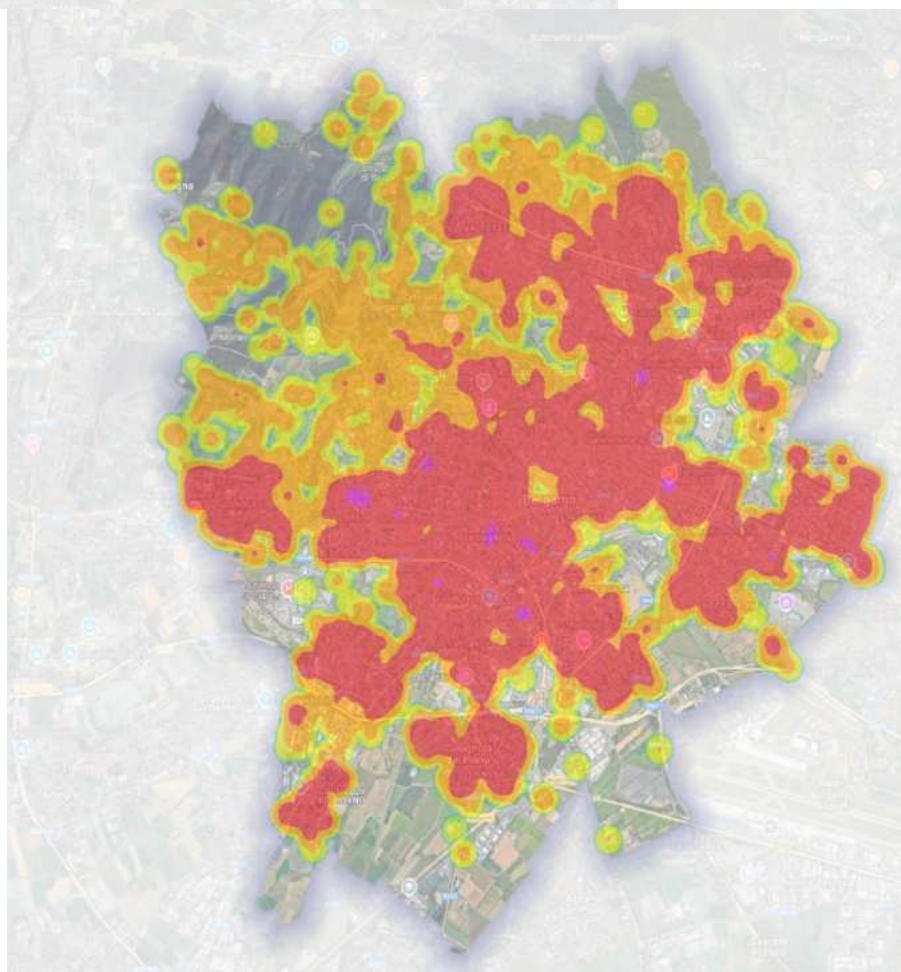


Figura 13 - KDE eseguita sugli abitanti per civico. Nella prima immagine buffer di 100 metri e nella seconda immagine buffer di 300 metri. Estratto elaborato Qgis





Durante l'elaborazione dei dati si è scelto come funzione di riferimento e quindi come relativa forma (shape) della KDE quella definiti come **Quartico**. L'applicativo Qgis permette di scegliere le seguenti funzioni: Quartico, Triangolare, Uniforme, Tripeso e Epanechnikov. Le differenze tra le varie funzioni vengono riportate nella seguente tabella.[†]

TAB. 7 – CONFRONTO TRA LE FUNZIONI DELLA KDE

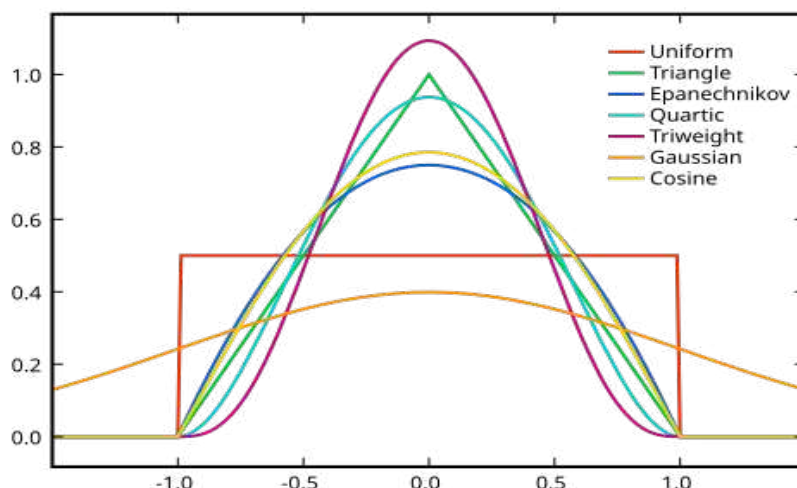
Funzione	Confini netti	Realismo	Utilizzata per
Gaussiana ⁵	No	Ottimo	Fenomeni diffusi (es. qualità aria)
Quartica	Sì	Buono	Analisi spaziali classiche, dati locali
Triangolare	Sì	Basso	Mappe veloci, grandi dataset
Uniforme	Sì	Scarso	Mappe di test o molto semplificate
Tripeso	Sì	Ottimo	Analisi locali concentrate
Epanechnikov	Sì	Buono	Bilanciamento tra precisione e velocità

Come si può osservare dalla figura sottostante, una delle importanti differenze tra le varie funzioni è il decadimento. Un decadimento lento (es. gaussiana) prevede che la densità scende dolcemente all'aumentare della distanza. Tale caratteristica è considerata molto realistico per fenomeni diffusi dove non c'è una soglia netta oltre

cui il fenomeno scompare (per esempio lo smog o il calore in città). Decadimenti rapidi (es. quartica, tripeso) prevedono che la densità crolli rapidamente vicino a un certo raggio. Tale caratteristica è considerata realistica per fenomeni localizzati, dove oltre una certa distanza l'effetto è nullo (per esempio l'accesso a una fermata del bus).

La funzione normalmente più utilizzata è appunto la quartica per via delle seguenti caratteristiche:

- Efficienza di calcolo: oltre il raggio massimo la funzione prevede contributi nulli. Ciò è ideale per dataset molto grandi;
- Decadimento: sebbene il decadimento sia rapido la funzione sfuma lentamente dando un effetto visivo finale naturale e senza spigoli;
- Raggio (bandwidth): alcune funzioni come la Gaussiana hanno raggi che tendono all'infinito mentre Quartico ha un raggio netto e chiaro rendendo l'analisi più controllabile.



⁵ Si noti che la funzione Gaussiana non è disponibile tra quelle utilizzabili ai fini della KDE in Qgis.

Foresta casuale - Random forest

Una random forest è un classificatore d'insieme ottenuto dall'aggregazione tramite *bagging*⁶ di alberi di decisione. Poiché il modello "random forest" è composto da più "decision tree", potrebbe essere utile descrivere brevemente l'algoritmo del decision tree. I decision tree iniziano con una domanda di base, come ad esempio: "Dovrei fare una passeggiata?" Si possono quindi porre delle domande per determinare una risposta, ad esempio: "C'è il sole?" o "Il vento soffia al forte?". Queste domande costituiscono i nodi decisionali dell'albero, che servono a suddividere i dati. Ogni domanda aiuta l'individuo a prendere una decisione finale, indicata dal nodo foglia. Le osservazioni che soddisfano i criteri seguiranno il ramo "Sì", mentre quelle che non lo soddisfano seguiranno il percorso alternativo. I decision tree cercano di trovare la migliore suddivisione dei dati e sono in genere addestrati attraverso l'algoritmo Classification and Regression Tree (CART). Per valutare la qualità della suddivisione, si possono utilizzare metriche come l'impurità di Gini, l'information gain o l'errore quadratico medio (MSE). Questo decision tree è un esempio di problema di classificazione, in cui le etichette delle classi sono "uscire a passeggiare" e "non uscire a passeggiare". Mentre i decision trees sono comuni algoritmi di apprendimento supervisionato, a volte possono essere soggetti a problemi, come distorsioni e sovradattamento. Tuttavia, quando più decision trees formano un insieme nell'algoritmo foresta casuale, prevedono risultati più precisi, in particolare quando i singoli alberi non sono correlati tra loro.

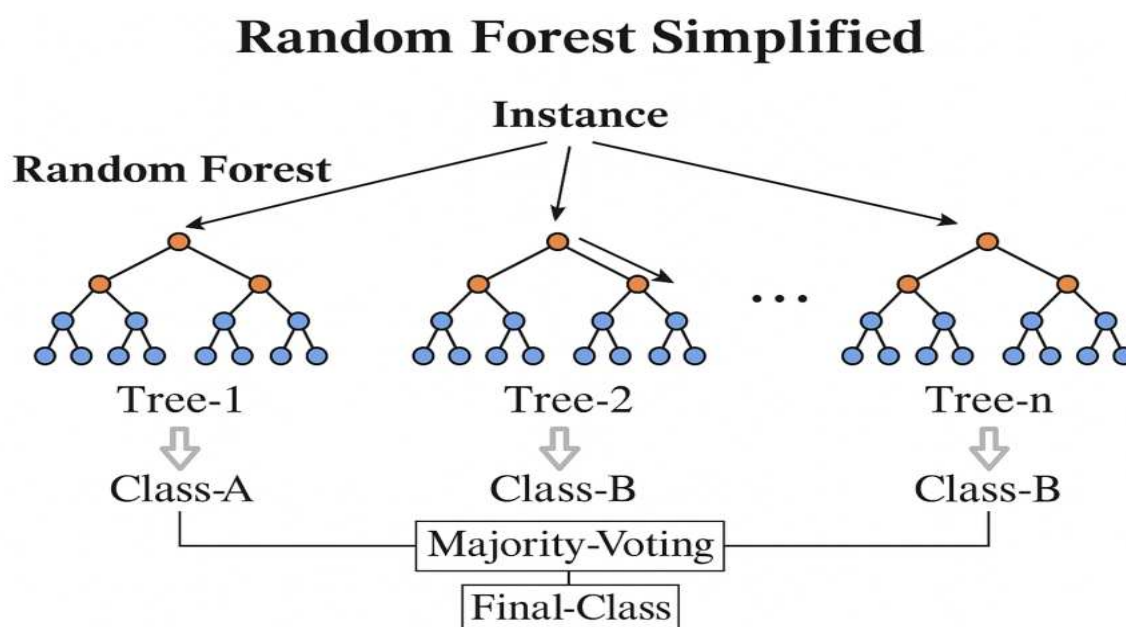


Figura 14 - Immagine esemplificativa di una random forest

⁶ Nell'apprendimento automatico, il bagging è una tecnica dell'apprendimento d'insieme in cui più modelli dello stesso tipo vengono addestrati su insiemi di dati diversi, ciascuno ottenuto da un insieme di dati iniziale tramite campionamento casuale con rimpiazzo (bootstrap).

Apprendimento automatico - Machine learning (ML)

Il machine learning (ML) è una branca dell'intelligenza artificiale (AI) che si propone di consentire a computer e macchine di imitare il modo in cui gli esseri umani apprendono, di eseguire compiti in modo autonomo e di migliorare le proprie prestazioni e la propria precisione attraverso l'esperienza e l'esposizione a una maggiore quantità di dati. Il sistema di apprendimento di un algoritmo di apprendimento automatico esegue processi decisionali, modelli di accuratezza per verificare degli errori e infine ottimizza i modelli per adattarsi meglio ai punti dati nel set di apprendimento. Il processo sopra descritto viene ripetuto n. volte al fine di raggiungere una soglia di accuratezza. ML viene applicato in analisi di regressione e random forest.

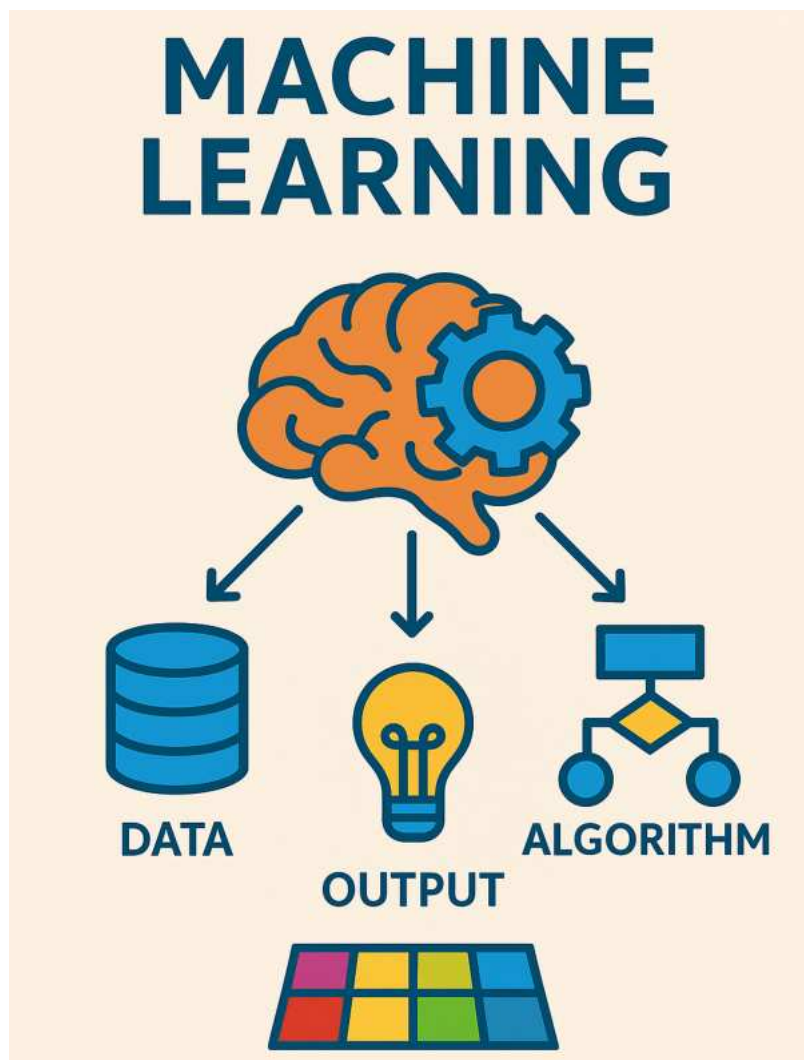


Figura 15 – Immagine esemplificativa di un ML



5. AMBITI DI BERSAGLIO E METODOLOGIE DI CALCOLO APPLICATE

Si riporta di seguito una tabella che, per ogni ambito, descrive il tipo di bersaglio e la metodologia di calcolo applicata.

TAB. 8 – AMBITI DI BERSAGLIO E METODOLOGIE DI CALCOLO APPLICATE			
Ambito	Tipologia bersaglio	Dati necessari	Indicazioni sui metodi di calcolo adottati
Strade	Traffico	DBT strade, PUMS, monitoraggio traffico, classificazioni strade (limiti di velocità, tipologie di strade, presenza di servizi, etc), posizione lanterne semaforiche.	I dati sono stati analizzati mediante random forest e machine learning. Al fine di assegnare la classe di bersaglio, il dato risultante dall'analisi di cui sopra viene confrontato con § 2 tabella nr.3.
Pertinenze stradali (aiuole sparti traffico, parcheggi lineari, etc.)	Traffico	DBT varie (aiuole sparti traffico, parcheggi lineari, etc.).	Per ogni elemento la classe di bersaglio viene assegnata uguale a quella della strada di riferimento.
Marciapiedi	Passaggio	DBT marciapiedi, numero di abitanti per civico.	Ogni italiano effettua in media 1,98 spostamenti al giorno. Per ogni spostamento viene previsto anche un rientro al punto di partenza. $Spostamenti\ totali = nr.\ abitanti \times 1,98 \times 1,98$ Gli spostamenti totali sono stati elaborati mediante la KDE con buffer di 100 metri ⁷ da cui si ricava il dato di passaggio. Al fine di assegnare la classe di bersaglio, il dato risultante dall'analisi di cui sopra viene confrontato con § 1 tabella nr.2.

⁷ 100 metri in quanto si considera come una distanza di spostamento media per raggiungere le fermate dei mezzi pubblici, i parcheggi, i servizi di shering, etc.



Pertinenze ai marciapiedi	Passaggio	DBT varie (aiuole di piccole dimensioni e/o lineari, elementi lungo i marciapiedi, etc).	Per ogni elemento la classe di bersaglio viene assegnata uguale a quella del marciapiede di riferimento.
Parchi	Occupazione	DBT aree verdi ad esclusione delle pertinenze delle strade e dei marciapiedi (in questo caso estratte da G.S. e seguendo la classificazione del Piano del Verde), numero di residenti per civico.	Il numero di abitanti per civico è stato elaborato mediante KDE con buffer di 300 metri⁸. Il dato KDE dell'area verde viene moltiplicato per un tasso di frequentazione (0,5), per un tempo di frequentazione orario (0,4 h/gg) per un numero di giorni all'anno (154 gg/a). La frequentazione viene rapportata sul numero totale di ore annue ovvero 8760. Infine, ottenuta la frequentazione, il dato di occupazione viene calcolato dividendo per la superficie dell'area e moltiplicando per l'albero modello. Al fine di assegnare la classe di bersaglio, il dato risultante dall'analisi di cui sopra viene confrontato con § 2 tabella nr.4.
Formule relative ai parchi: $Frequentazione = \frac{KDE \times 0,5 \times 0,4 \left[\frac{h}{gg} \right] \times 154 \left[\frac{gg}{a} \right]}{8760 \left[\frac{h}{a} \right]}$ $Occupazione = \frac{Frequentazione}{Sup. tot. parcheggio [m^2]} sup. albero modello [m^2]$ KDE = Stima media per ogni area verde; 0,5 = metà della popolazione che usa l'area rispetto alla popolazione totale; 0,4 = tempo espresso in ore giorno che indica la frequentazione di un'area verde; 154 = giorni/anno di frequentazione per persona; 8760 = ore annue.			

⁸ Il dato di 300 metri si riferisce alla distanza da un parco che ogni abitante dovrebbe avere rispetto la propria abitazione.



Parcheggi	Occupazione	DBT parcheggi	Il dato di occupazione viene calcolato partendo dal numero di auto giorno che ogni parcheggio può ospitare. Il primo dato da ricavare è il numero di autoveicoli che ogni giorno può ospitare un parcheggio. Il nr. auto viene poi moltiplicato per un tempo (3 minuti/giorno) necessario per entrare/uscire dall'autovettura e allontanarsi/avvicinarsi alla stessa. Il tutto viene rapportato per la superficie totale del parcheggio nonché moltiplicato per la superficie dell'albero modello e anche per un indice di utilizzo del parcheggio. Per quanto riguarda l'indice di utilizzo si riporta quanto segue: • $I_u = 1 \rightarrow$ parcheggi frequentati tutto il giorno (residenziali e insediamenti produttivi); • $I_u = 0,3 \rightarrow$ parcheggi frequentati in alcune ore del giorno (campi sportivi); • $I_u = 0,1 \rightarrow$ parcheggi frequentati saltuariamente (parcheggio fiera) Al fine di assegnare la classe di bersaglio, il dato risultante dall'analisi di cui sopra viene confronta con § 2 tabella nr.4.
Formule relative ai parcheggi: $nr. \text{ auto} = \frac{sup. \text{ totale parcheggio } [m^2]}{sup. \text{ stallo } [m^2] + sup. \text{ manovra } [m^2]} = \frac{sup. \text{ totale parcheggio } [m^2]}{12,5 [m^2] + 12,5 [m^2]}$ $Occupazione = \frac{nr. \text{ auto} \times 3 \left[\frac{mm}{gg} \right]}{Sup. \text{ tot. parcheggio } [m^2]} sup. \text{ albero modello } [m^2] \times I_u$			



Verde privato	Occupazione	DBT pertinenze edifici, numero di residenti per civico	Il dato di occupazione viene ricavato moltiplicando il numero di residenti per civico per il tempo medio di 16 minuti giorno di presenza in giardino. Il tutto viene rapportato alla superficie totale. Al fine di assegnare la classe di bersaglio, il dato risultante dall'analisi di cui sopra viene confrontato con § 2 tabella nr.4.
Formule relative al verde privato: $Occupazione = \frac{nr.residenti\ per\ civico * 16 \left[\frac{mm}{gg}\right]}{sup.pertinenza\ edificio\ [m^2]}$			
Distributori di carburante	Occupazione	DBT distributori di carburante	Il dato di occupazione viene ricavato con la seguente formula: Al fine di assegnare la classe di bersaglio, il dato risultante dall'analisi di cui sopra viene confrontato con § 2 tabella nr.4.
Formule relative ai distributori di carburante: $Occupazione = \frac{250 [veicoli\ gg] \times 3 \left[\frac{mm}{gg}\right]}{Sup.tot.distributore\ [m^2]} sup.albero\ modello\ [m^2]$			
Pertinenze scuole	Occupazione	DBT scuole, biblioteche, università	Classificazione arbitraria per l'alta rilevanza dell'ambito.
Strutture sanitarie	Occupazione	Posizione strutture sanitarie	Classificazione arbitraria per l'alta rilevanza dell'ambito.
Fermate mezzi pubblici	Occupazione	Posizione fermate mezzi pubblici	Classificazione arbitraria per l'elevata rilevanza dell'ambito con un buffer pari all'altezza dell'albero modello.
Piazze	Occupazione	Posizione piazze	Classificazione arbitraria per l'elevata rilevanza dell'ambito.



Cimitero	Occupazione	DBT cimiteri	Classificazione arbitraria per la moderata rilevanza dell'ambito.
Aree agricole	Occupazione	DBT aree agricole	Classificazione arbitraria per debole rilevanza dell'ambito.
Boschi	Occupazione	DBT boschi	Classificazione arbitraria per minima rilevanza dell'ambito.
Edifici	Valore danno	DSM, DTM, EDIFICI DA DBT	Il DSM e il DTM sono stati elaborati per ricavare il nDSM (Normalized Digital Surface Model) ovvero l'altezza relativa degli oggetti rispetto al suolo. Si considerano le seguenti classi: edifici < 6 metri = classe 2; 6 m < edifici < 16 m = classe 3; edifici > 16 metri = classe 4.
Monumenti (statue e fontane)	Valore danno	Posizione monumenti (statue e fontane)	Classificazione arbitraria per la significativa rilevanza dell'ambito.
Edifici storici	Valore danno	Posizione edifici storici	Classificazione arbitraria per significativa rilevanza dell'ambito.
Ferrovia	Valore danno	Posizione ferrovia	Classificazione arbitraria per l'alta rilevanza dell'ambito.

6. RISULTATI

RISULTATI GENERALI

Si riporta di seguito un estratto complessivo di quanto elaborato. Dall'immagine sotto riportata si possono vedere tutti gli ambiti di progetto, dalle strade alle aree verdi, dai marciapiedi agli edifici, dai boschi alle aree agricole, etc. Come si può notare, la maggior parte dei colori visibili sono di forte intensità e appartengono alle classi 1, 2, 3 e 4 – quindi i colori virano tra il viola e il giallo, passando per il rosso e l'arancione - salvo per le aree agricole e i boschi che stemperano i forti colori dell'estratto grazie al verde (classe 6) e all'azzurro (classe 7). Ovviamente l'intenso risultato visivo non è altro che frutto dell'alta densità abitativa (in Comune di Bergamo vivono 119.000 abitanti), del fatto che le città attira quotidianamente a sé persone per studio, lavoro, svago e turismo, nonché degli svariati stili di vita delle persone. In particolare, a quest'ultimo punto appartengono tutte le scelte che quotidianamente le persone si trovano a fare come l'utilizzo di un'autovettura rispetto al mezzo pubblico, la frequentazione di aree verdi, etc.

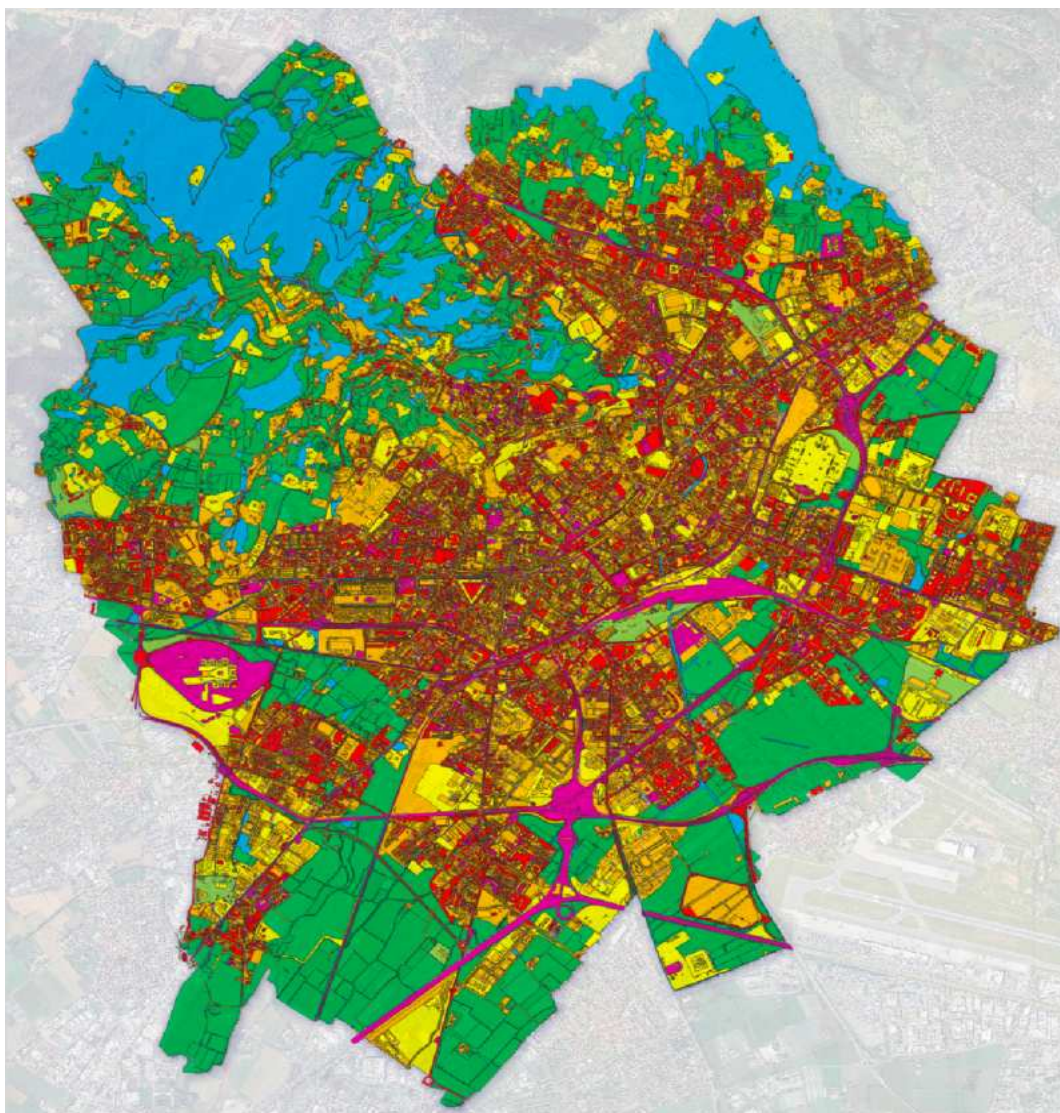


Figura 16 - Elaborato finale, estratto Qgis



AMBITI DI DETTAGLIO

Strade – traffico

Sulla base dei dati ottenuti dal monitoraggio del traffico e attraverso l'elaborazione mediante random forest e machine learning, la classe di vulnerabilità attribuita alle strade è principalmente minore o uguale a 3. I risultati ottenuti sono coerenti con quanto atteso. Infatti, analizzando quanto presente in tabella 3 § 2, la classe 4 prevede un numero di veicoli/giorno compreso tra le poche unità e qualche decina (per strade con limite di velocità pari a 50 km/h la classe 4 prevede un numero di veicoli/giorno tra 9 e 94). Come si diceva il dato è ragionevole e coerente in quanto, considerato l'ampio afflusso di traffico cittadino, l'elevata densità abitativa e le abitudini legate agli spostamenti (per cui la maggior parte degli spostamenti sono legati all'utilizzo di veicoli), classi inferiori alle 3 non sarebbero coerenti. Classi di vulnerabilità maggiori alla 3 sono state attribuite ad aree meno frequentate come strade a fondo chiuso e/o con poche unità abitative.



Figura 17 - Esiti classi di vulnerabilità strade



Marciapiedi - passaggio

Sulla base dell'elaborazione dei residenti per civico e degli esercizi commerciali, e attraverso la metodica della KDE, la classe di vulnerabilità attribuita ai marciapiedi è principalmente minore o uguale a 3. I risultati ottenuti sono coerenti con quanto atteso. Infatti, analizzando quanto presente in tabella 2 § 2, la classe 4 prevede un numero di pedoni-ciclisti/giorno tra 1,5 e 15. Come si diceva il dato è ragionevole e coerente in quanto, considerato l'ampio afflusso di pedoni e bici in città, l'elevata densità abitativa e le abitudini legate agli spostamenti a piedi e/o bici, classi inferiori non sarebbero coerenti. Classi di vulnerabilità maggiori a 3 sono state attribuite ad aree meno frequentate come aree scarsamente popolate e con pochi o nulli esercizi commerciali.

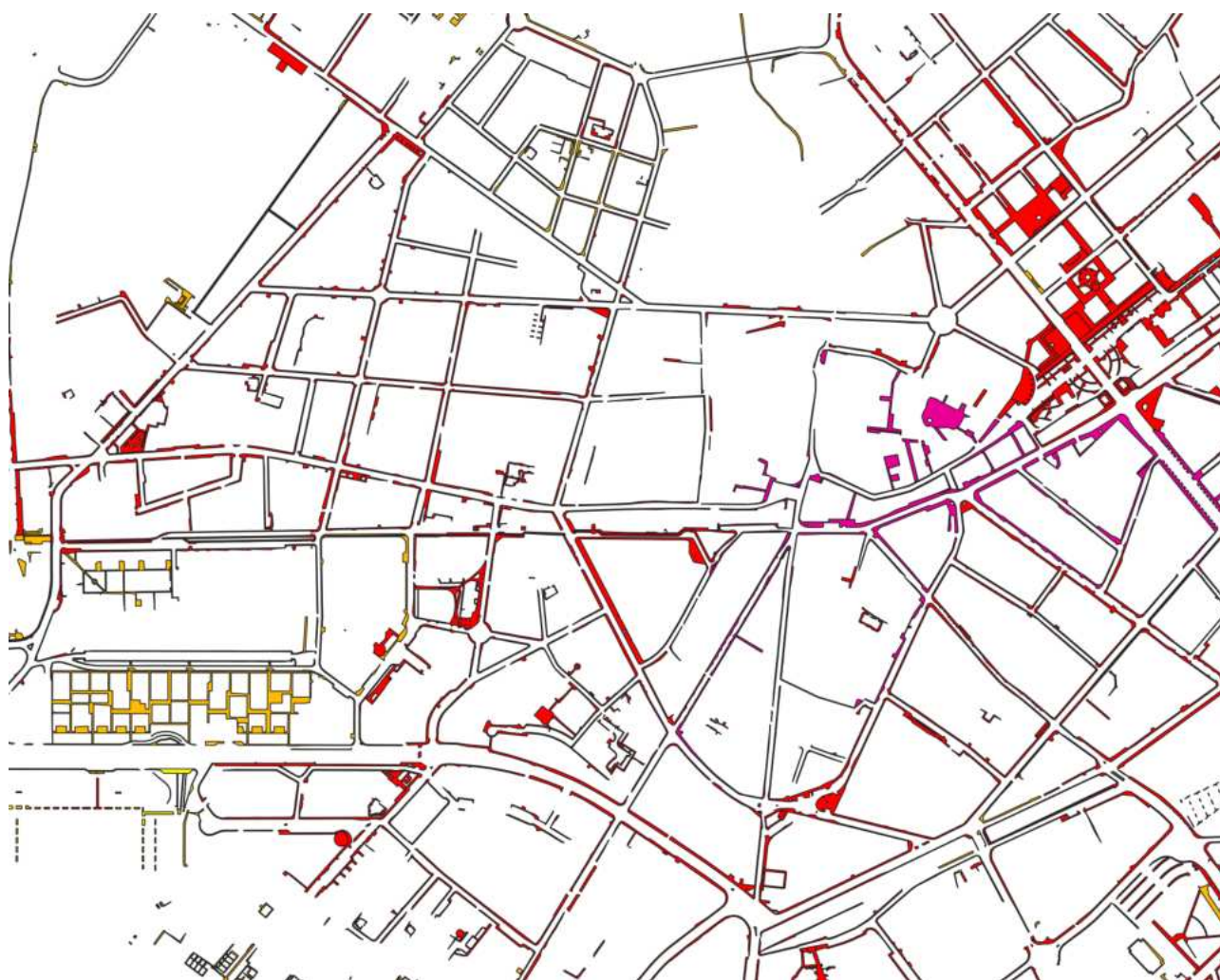


Figura 18 - Esiti classi di vulnerabilità marciapiedi

Parchi - occupazione

Sulla base dell'elaborazione dei residenti per civico e attraverso l'elaborazione mediante KDE, la classe di vulnerabilità attribuita ai parchi è principalmente minore o uguale a 3. I risultati ottenuti sono coerenti con quanto atteso. Infatti, analizzando quanto presente in tabella 4 § 2, la classe 4 prevede un numero tasso di occupazione tra i 3 minuti/giorno e i 2 minuti/settimana.

Come si diceva il dato è ragionevole e coerente in quanto, considerato l'ampio utilizzo di aree verdi, l'elevata densità abitativa e le abitudini legate agli utilizzi delle aree suddette, classi inferiori non sarebbero coerenti. Classi di vulnerabilità maggiori alla 3 sono state attribuite ad aree marginali e meno frequentate.

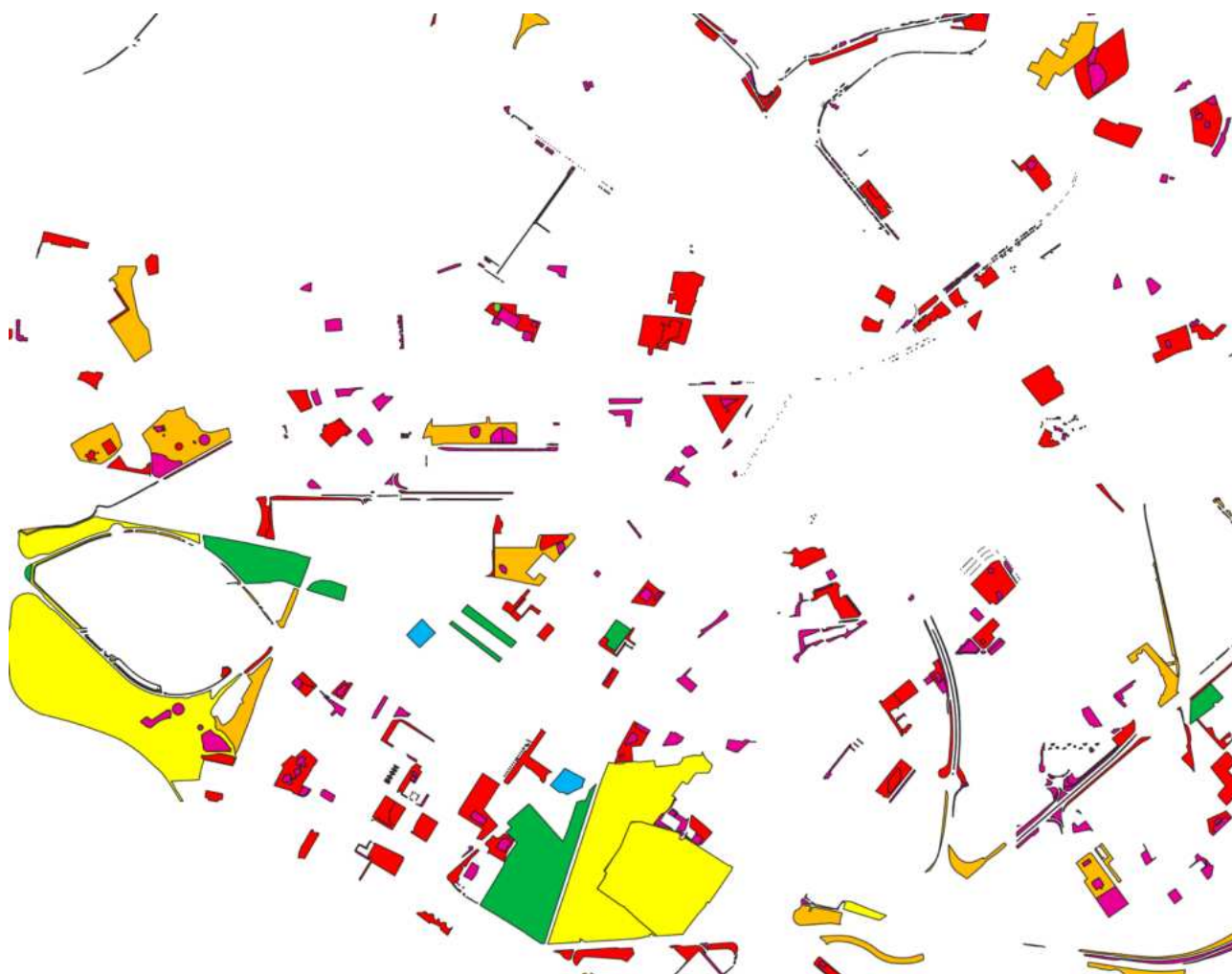


Figura 19 - Esiti classi di vulnerabilità parchi

Parcheggi - occupazione

Sulla base del numero di veicoli che ogni parcheggio può ospitare la classe di vulnerabilità attribuita ai parcheggi è risultata principalmente pari a 3. I risultati ottenuti sono coerenti con quanto atteso. Infatti, analizzando quanto presente in tabella 4 § 2, la classe 4 prevede un tasso di occupazione tra i 3 minuti/giorno e i 2 minuti/settimana. Come si diceva il dato è ragionevole e coerente in quanto, considerato l'ampio utilizzo dei parcheggi, classi inferiori non sarebbero coerenti. Classi di vulnerabilità maggiori alla 4 sono state attribuite a parcheggi raramente utilizzati come quello della fiera di Bergamo.



Figura 20 - Esiti classi di vulnerabilità parcheggi

Classificazioni arbitrarie

Alle seguenti aree:

- aree agricole;
- boschi;
- scuole;
- biblioteche;
- università;
- strutture ospedaliere;
- edifici storici;
- rete ferroviaria;
- piazze;
- statue;
- fontane;
- aree sportive;
- fermate dei mezzi pubblici.

È stata assegnata una classe di vulnerabilità arbitraria, come descritto nel § 5.

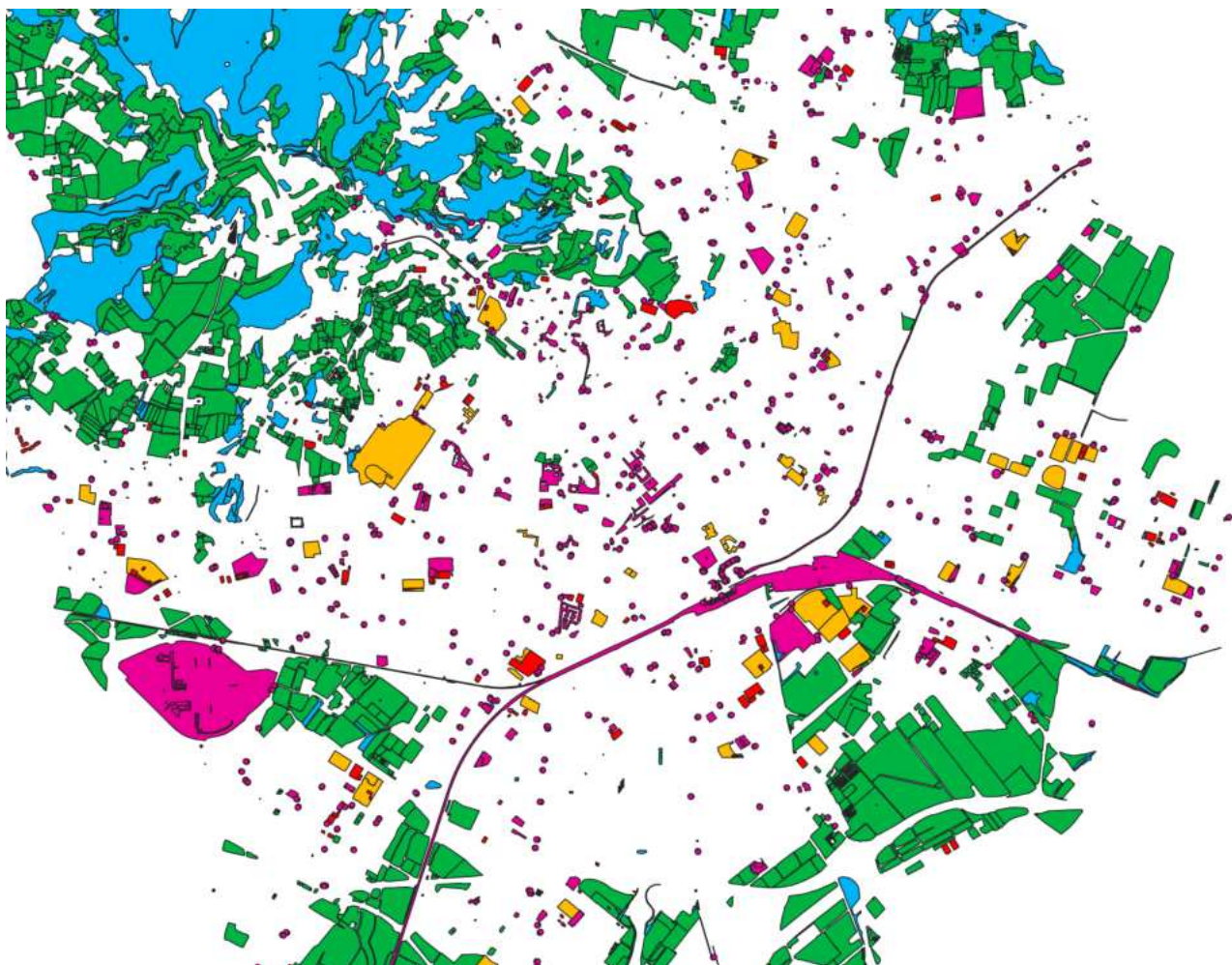


Figura 21 - Esiti classi arbitrarie

7. PROCEDURA DI UTILIZZO DEGLI ELABORATI

Come accennato nel § 3 la CdV, all'interno di un piano di gestione arboreo, ha due scopi precisi: di pianificazione e di supporto.

PIANIFICAZIONE DEI CONTROLLI E GLI INTERVENTI

Il primo obiettivo è quello di fornire una zonizzazione del territorio in base all'esposizione dei bersagli, al fine di guidare l'amministrazione nel definire cronoprogrammi di intervento. Tali interventi possono essere di tipo conoscitivo/valutativo, come il censimento e il controllo delle alberature, oppure di tipo gestionale, come interventi di cura colturale o di prevenzione e mitigazione dei rischi. Inoltre, la Carta delle Vulnerabilità (CdV) può orientare l'amministrazione anche nelle scelte pianificatorie, influenzando e indirizzando progetti urbanistici (non solo quelli relativi alle infrastrutture verdi) in considerazione della frequentazione delle aree.

Pertanto, nel caso sia necessario definire o completare il censimento delle alberature seguendo un plafond economico distribuito in più anni, la CdV indica le aree da censire con priorità, in



quanto maggiormente frequentate o con bersagli di maggior valore, e quindi le prime di cui ottenere dati sulle alberature presenti.

Allo stesso modo, il budget destinato a nuovi controlli di alberature (Valutazione del Rischio Arboreo eseguito per la prima volta) sarà armonizzato attraverso un cronoprogramma basato sulle priorità definite dalle aree con maggiore vulnerabilità.

Qui è inteso come nuovo controllo la valutazione tecnica per singolo albero che viene effettuata per la prima volta su un albero e dove quindi l'amministrazione non ha indicazioni di tempi di ricontrollo o prescrizioni. È quindi l'amministrazione stessa che decide quali soggetti arborei destinare prioritariamente a valutazione anche grazie alla CdV.

In questo contesto, risulta utile, se non indispensabile, **sovrapporre alla carta delle vulnerabilità il censimento arboreo**, così da formulare un dato di vulnerabilità nella sua accezione completa (fattore di contatto + fattore di danno). A seconda quindi del livello di bersagli delle aree e delle dimensioni delle piante presenti si potranno definire tempi e tipi di valutazione.

SUPPORTO AI TECNICI CHIAMATI ALLA VALUTAZIONE DELLE ALBERATURE

“La scelta delle classi di bersaglio è frutto del confronto ragionato tra il professionista e il committente, in quanto il professionista può non essere a conoscenza di particolari fruizioni dell'area bersaglio in particolari momenti della giornata o dell'anno. Il professionista si informa presso il committente sugli usi sia frequenti che occasionali del luogo in cui vegeta l'albero sottoponendo al committente una lista di controllo” (SANI, 2020)

Il tecnico valutatore che ha il compito di stimare il livello di rischio di un albero “in campo” deve eseguire appropriate indagini sull'albero stesso, stimandone il grado di Pericolo e il fattore di contatto (Impulso), e accurate osservazioni sul contesto di crescita deducendone il Bersaglio più probabile. In questo senso la CdV svolge una funzione cruciale di supporto decisionale condiviso (perito – Committente) fornendo al valutatore informazioni sui bersagli presenti nell'area di indagine.

Tuttavia, è fondamentale chiarire che solo il valutatore ne conferma l'appropriatezza in riferimento allo specifico albero oggetto di indagine. Nel territorio, infatti, insistono innumerevoli casi dove un bersaglio definito dalla CdV per un'intera area, come un parco o una strada pubblica, possa subire motivate variazioni microstazionali. Ad esempio, nel caso di un parco, la presenza di panchine isolate o nel caso di una strada la presenza di un semaforo. Questi possono essere punti di concentrazione anche correttamente non considerati nella CdV, vista l'ampiezza del territorio da pianificare, ma che il tecnico valutatore deve considerare in sede di indagine in campo. Allo stesso modo, ad esempio, il valutatore può considerare come altri i bersagli più probabili, rispetto a quelli riportati nella CdV, in relazione, ad esempio, alla notevole inclinazione dell'albero.



Pertanto, la CdV deve essere considerata uno degli strumenti a disposizione dei valutatori per fornire loro un quadro utile all'individuazione dei bersagli più probabili.

È utile qui riportare un breve approfondimento chiarendo la **differenza fra valutazione e gestione**:

Nel caso del rapporto tra perito professionista (il valutatore) e l'ente pubblico (l'amministrazione) si è spesso nella condizione in cui il tecnico esterno ha l'incarico di valutare la pericolosità dell'albero e deve svolgere questa attività in modo del tutto indipendente dal contesto e dalle volontà o disponibilità dell'amministrazione. Il processo diagnostico è così solo parziale e elude la componente gestionale.

È quindi necessario (a meno che il tecnico dell'amministrazione pubblica non lo faccia lui) che il professionista valuti anche il rischio connesso alla presenza dell'albero, ma ciò può essere fatto solo coinvolgendo nel processo valutativo del rischio il suo Committente, per poi lasciargli del tutto l'aspetto della gestione dell'albero. Questa procedura condivisa è essenziale perché altrimenti l'albero andrebbe valutato sia dal perito che ne determina pericolosità, che dal tecnico dell'amministrazione che secondo la vulnerabilità deve formularne il rischio e decidere poi come gestire l'albero.

La valutazione è diversa dalla gestione e gli interventi colturali dipendono dall'attività di gestione dell'albero. Poiché il valutatore, quando lavora per un Ente pubblico, spesso non conosce qual è la percezione del rischio del Committente, qual è la sua disponibilità di budget e spesso neanche quali siano gli specifici bersagli del luogo in cui opera, è ovvio che da ciò ne segue che le prescrizioni colturali, in quanto dipendono non dalle condizioni di pericolo ma da quelle di rischio dell'albero, potranno essere inadeguate.

A questo si cerca di rimediare proprio fornendo al valutatore uno strumento di lettura dei bersagli condiviso con la committenza (amministrazione) che è la CdV.

8. MIGLIORIE E AGGIORNAMENTO

La CdV è redatta sulla base dei dati e delle conoscenze vigenti al momento della sua stesura. Poiché il tessuto urbano, ancorché consolidato, è oggetto di continue evoluzioni è plausibile che, con il tempo, alcune parti della CdV risultino più obsolete e necessitino quindi di aggiornamento. La revisione della CdV è un atto necessario qual ora si vengano a verificare variazioni significative come modifiche urbanistiche e territoriali (formazione di nuove aree frequentate, ordinanze di polizia locale per il cambio dei limiti di velocità, realizzazione di nuove aree edificabili, etc) che coinvolgono la frequentazione di ambiti pubblici ma anche ambiti privati contermini a quelli pubblici.

L'aggiornamento è comunque ritenuto utile se effettuato periodicamente permettendo di effettuare quanto meno un controllo della validità dello strumento o apportare elementi di aggiornamento che nel tempo sono stati verificati in campo. È consigliabile prevederne un aggiornamento quadriennale coinvolgendo professionisti di qualificata esperienza nel campo.



L'amministrazione ha il compito di recepire nel tempo variazioni o correzioni oltre che, possibilmente provvedere a modifiche "di scala" dove ritenute opportune come situazioni puntuali specifiche non indicate attualmente.

MIGLIORIE

Si propongono ora alcune migliorie eseguibili nel tempo al fine di migliorare i dati statistici utilizzati nella redazione della CdV.

- Installazione di sensori conta persone: valutare l'installazione di sensori di passaggio al fine di raccogliere dati di frequentazione delle aree pubbliche verdi e preliminarmente nei parchi pubblici confinati con ingressi limitati. L'installazione, anche temporanea, deve cogliere la differenza tra i diversi usi stagionali delle aree verdi permettendo un dato statistico di frequentazione annuale oggettivo.
- Aumentare il raggio di azione dei dati di traffico giornaliero (PUMS) accogliendo strade di periferia. Ottenere dati del numero di passaggio giornaliero (e annuale) del numero di veicoli nelle aree di periferia o nelle aree rurali permette una migliore ridistribuzione dei dati statistici ricavati tramite machine learning.
- Effettuare analisi di campo con contapersone analogici sia nelle aree pedonali maggiormente frequentate che nelle aree a dubbia frequentazione per migliorare la CdV negli ambiti di passaggio pedonali come marciapiedi o pertinenze.

MIGLIORIE LEGATE ALL'USO DELLA CdV

Al momento della sovrapposizione del censimento arboreo alla CdV è possibile assegnare un valore di Bersaglio al singolo albero.

È possibile che in questo caso si possano presentare situazioni di confine tra diversi bersagli che rendano più complessa l'attribuzione dello stesso all'albero. In questo caso si possono usare metodi di assegnazione spaziale ovvero definendo l'area di pericolo come Buffer di ampiezza uguale all'altezza dell'albero per poi assegnare il bersaglio più rappresentato all'interno dell'area circoscritta. È sconsigliabile usare il metodo precauzionale prevedendo l'assegnazione del bersaglio peggiore coinvolto in quanto, come specificato nel capitolo 2 par. "Metodo di valutazione del bersaglio", porterebbe ad un principio di precauzione negativo dal punto di vista programmatico e gestionale.

9. ELABORATI

Il lavoro svolto verrà restituito tramite formato interoperabile mediante applicativo open source Qgis nonché mediante cartografie facilmente consultabili divise in quadranti.

Il file della Vulnerabilità complessivo è fornito in DB GeoPackage (gpkg) contenente sia il layer generale che i layer dei singoli ambiti. Il layer generale "**CdV_BG.gpkg**" è interrogabile per i seguenti campi:



- Classe di Bersaglio;
- Tipo di Bersaglio;
- Ambito;
- Classificazione delle aree verdi secondo quanto riportato nel Piano del Verde del Comune di Bergamo;
- Proprietà pubblica o privata.

Inoltre, il layer di cui sopra sarà fornito anche in formato WebGis per una più rapida e agevole consultazione. Gli elaborati cartografici vengono forniti in quadranti in formato PDF di dimensione A1 e con scala 1:5000.

- Relazione tecnico agronomica;
- Tav.1 – Quartieri S. Lucia, S. Paolo, Centro S. Alessandro, Centro Pignolo e Centro Papa Giovanni XXIII;
- Tav.2 – Quartieri Loreto, Villaggio degli Sposi e S. Tommaso;
- Tav.3 – Quartieri Colognola e Grumello;
- Tav.4 – Quartieri Carnovali, Malpensata e Campagnola;
- Tav.5 – Quartieri Boccaleone e Celadina;
- Tav.6 – Quartieri Borgo Palazzo – Alle Valli e S. Caterina;
- Tav.7 – Quartieri Redona;
- Tav.8 – Quartieri Valtesse (S. Colombano), Valverde (S. Antonio), Conca Fiorita e Monterosso;
- Tav.9 – Quartieri Colli;
- Tav.10 – Quartieri Longuelo;
- Cdv_BG.gpkg;
- Cdv_aree_verdi.gpkg;
- Mappa WebGis.

Maggio 2025

I professionisti