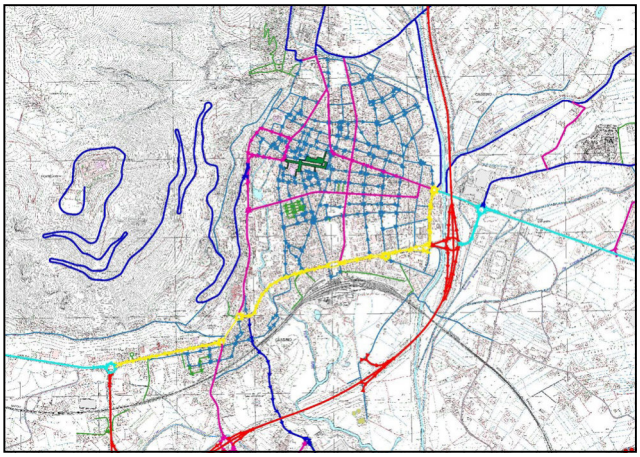
COMUNE DI CASSINO

Provincia di Frosinone

PIANO GENERALE DEL TRAFFICO URBANO



contenuto del fascicolo:	*Elaborato n°*
RELAZIONE MOBILITA' PEDONALE	1- E

rif.	*revisione*	*data*
		15 Febbraio 2024

AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CASSINO

Progettisti: Ufficio tecnico del Comune di Cassino: Ing. Mario Lastoria

Consulenza scientifica: Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Gruppo di lavoro: Prof. Ing. Mauro D'Apuzzo,Ing. Giuseppe Cappelli,Ing. Martina Furioso,Ing. Sofia Nardoianni Ing. Gianluca Felice Pilla

Mauro D'Apuzzo 23.02.2024 01:33:24 GMT+00:00

03043 CASSINO (FR) Via Di Biasio 144 Tel./fax 0776/311097

Firmato digitalmente da:
MARIO LASTORIA
DIRIGENTE RESPONSABILE AREA TECNICA
Firmato il 23/02/2024 08:32
Seriale Certificato: 264882119907117097 3
Valido dal 15/07/2021 al 15/07/2024
ArubaPEC EU Qualified Certificates CA G1

Sommario

Indice delle figure 1
Indice delle tabelle 2
Introduzione 3
Stima del flusso pedonale: approccio configurazionale 3
Descrizione della procedura 7
Rilievo dei pedoni 16
Risultati dell'analisi previsionale 24
Pesi correttivi 25
Analisi con dati post-Covid 29

Indice delle figure

Fig. 1. Variazione angolare tra le sezioni della rete. 6
Fig. 2. Funzione di impedenza per il movimento pedonale. 7
Fig. 3. Successione di buffer dal centroide della rete fino a 1600 m di distanza (preso da Qgis). 8
Fig. 4. Tabella dei valori medi di k per ogni corona circolare. 8
Fig. 5. In rosso la posizione del Comune di Cassino in provincia di Frosinone 9
Fig. 6. Fotogrammetria aerea del centro di Cassino. 9
Fig. 7. Porzione del centro di Cassino interessata dallo studio. 10
Fig. 8. Descrizione della procedura. 10
Fig. 9. Attributi della Sezione 1 del Comune di Cassino. 11
Fig. 10. Regione Lazio suddivisa nelle sue sezioni censuarie. Le sezioni del Comune di Cassino sono selezionate in giallo. 11
Fig. 11. Sezioni censuarie costituenti il territorio comunale di Cassino. 12
Fig. 12. Aggiunta dei campi "_P1" (Popolazione residente), "_E3" (Edifici residenziali), "_E4" (Edifici commerciali). 12
Fig. 13. Utilizzo di Open Street Map nella costruzione della rete pedonale (tratto da Qgis). 14
Fig. 14. Utilizzo di Google Satellite nella realizzazione della rete pedonale (tratto da Qgis). 14
Fig. 15. Zone isolate del centro in quanto prive di attraversamenti pedonali (tratto da Qgis). 15
Fig. 16 Centroidi delle sezioni censuarie (in blu) e delle sezioni della rete (in rosso) (tratte da Qgis). 16
Fig. 17 ISTAT basket year 2019 (Source: https://www.istat.it/it/files//2019/02/infograficaPaniere.pdf - 19/8/2019) 18
Fig. 18 Bing Mappe Veduta aerea; a sinistra, cerchiata in rosso, la posizione della rotatoria nell'area dell'anfiteatro romano di Cassino e a destra ingrandita nel dettaglio. 19
Fig. 19 Google street view, rotatoria nella zona dell'anfiteatro romano di Cassino, prima uscita viale Bonomi; seconda via G. Di Biasio. 19
Fig. 20 Itinerario prefestivo. 20

Fig. 21 Itinerario feriale. 20
Fig. 22 Posizionamento dei dispositivi sul parabrezza. 21
Fig. 23 Foglio di calcolo EXCEL. 23
Fig. 24 Lettore multimediale VLC, accesso al pannello: Effetti video. 23
Fig. 25 Lettore multimediale VLC, Effetti video, Geometria, Zoom interattivo. 23
Fig. 26 VLC Media Player, Effetti video, Essenziale. 23
Fig. 27 Rappresentazione QGIS dei pedoni rilevati e presenti sul percorso di studio nello scenario feriale. 24
Fig. 28 Rappresentazione tematica dei risultati dell'analisi ponderata con Pprox, con legenda dei valori di Integrazione in base ai colori. 25
Fig. 29 Identificazione degli attrattori presenti nell'area di studio. 26
Fig. 30 esercizi commerciali presenti in rete. 27
Fig. 31 Risultati con analisi ibrida ponderata. 28
Fig. 32 Percorso feriale post-Covid. 30
Fig. 33 Percorso pre-festivo post-Covid. 30
Fig. 34 Confronto tra il conteggio dei pedoni pre e post Covid. 31
Fig. 35 Pre Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti. 31
Fig. 36 Post Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti. 32

Indice delle tabelle

Tab. 1. Valori di k in funzione della distanza d 7
Tab. 2. Tabelle dei tratti stradali esistenti su strade e piazze del percorso di rilevamento....19

Introduzione

La necessità di ridurre le emissioni in atmosfera ha portato le amministrazioni a cercare soluzioni per ridurre la congestione urbana inducendo i cittadini a preferire modalità più sostenibili. Per scoraggiare l'utilizzo del trasporto motorizzato, sempre più spesso vengono creati percorsi o aree dedicate all'utenza debole. Ma per la corretta progettazione e gestione di queste opere sono necessari studi preliminari per creare un ambiente che sia percepito dall'utente come sicuro e confortevole. Quindi il progettista deve curare l'estetica dell'opera ma soprattutto ridurre i possibili rischi con cui il pedone può interagire. Per fare questo è necessario dimensionare l'opera conoscendo non solo i dati antropometrici dell'utente medio ma anche l'esposizione pedonale, quindi il flusso pedonale. In analogia con gli studi sulle capacità delle infrastrutture per i veicoli, il flusso serve a definire la capacità di uno spazio pedonale come sua massima possibilità di ricezione.

In questo ambito verrà riportato uno studio che fonde l'approccio puramente configurazionale con le caratteristiche dell'area di esame. I risultati preliminari sono soddisfacenti per una stima qualitativa del flusso che va a caricare l'infrastruttura.

In relazione a ciò sono state realizzate delle simulazioni sul flusso pedonale nel centro di Cassino, avvalendosi anche di una calibrazione grazie alla raccolta dati effettuata su una serie di circuiti di rilevamento.

Stima del flusso pedonale: approccio configurazionale

L'approccio gravitazionale si basa sull'utilizzo della Sintassi Spaziale, ovvero una serie di teorie e tecniche per l'analisi della configurazione spaziale delle reti stradali e degli edifici, e delle interazioni che coesistono tra loro. È stato ideato da Bill Hillier, professore della Bartlett School of Architecture, University College London (UCL), alla fine degli anni '70. La sintassi spaziale è stata creata per aiutare gli urbanisti a simulare i probabili effetti sociali (intesi come comportamento umano e sviluppo delle attività) generati dai loro progetti. Secondo Hillier[1] i movimenti pedonali sono influenzati dalla configurazione della rete. L'approccio configurazionale presuppone

[1] Hillier & Iida, 2005

che lo spazio urbano, così come è strutturato, influenzi sia i processi insediativi che gli spostamenti, sulle strade e sugli spazi, legati alla presenza di attività insediative.

Tutti i movimenti stimati dalla sintassi spaziale sono definiti da Hiller come movimenti naturali[2]. Questi ultimi sono le relazioni tra la configurazione della rete e qualsiasi altro elemento del sistema stradale. In molti casi, gli spostamenti non sono generati solo dalla configurazione della rete, ma possono anche essere influenzati da altri attrattori.

La Sintassi dello Spazio si basa sulla tecnica dell'analisi assiale con la quale lo spazio urbano bidimensionale viene ridotto in un sistema unidimensionale. Questa tecnica parte dall'ipotesi che lo spazio urbano sia costituito da una serie di segmenti lineari con i quali la griglia sia discretizzata e che l'osservatore si muova in essa in base alla percezione visiva, prediligendo percorsi lineari non legati alle variazioni visive.

I risultati dell'analisi assiale presentano indici che permettono di descrivere la consistenza configurazionale degli elementi, tra questi i più utilizzati sono:

- L'indice di scelta globale (choice): rappresenta il flusso presente attraverso uno spazio (un valore elevato si ottiene quando ci sono percorsi brevi che collegano più spazi);
- L'indice di connettività, inteso come variabile locale, indica il numero di elementi direttamente connessi ad uno spazio;
- L'indice di integrazione (INT) è una misura globale dell'accessibilità, ovvero il numero minimo di passi di un grafo necessari per raggiungere un punto partendo da un altro. Questo parametro può essere valutato sia localmente (con raggio topologico 3 o metrico 400m [3] che risulta essere il miglior predittore di spostamenti su piccola scala (perché gli spostamenti pedonali tendono ad essere più brevi e vedono il reticolo stradale in modo relativamente localizzato); oppure c'è l'integrazione globale (con raggio topologico n) che prevede i movimenti su larga scala (compresi i movimenti dei veicoli, perché le persone che fanno viaggi più lunghi tenderanno a leggere la griglia in modo più globalizzato).

[2] Hiller, Penn, Hanson, Grajewski, & Xu, 1993

[3] Jiang, Claramunt, & Klarqvist, 2013

Questo indice presenta diverse formulazioni matematiche, la più immediata sembra essere quella riportata da Raford e Regland (2005)

$$INT = \frac{2\,(MD-1)}{K-2} \qquad (1)$$

Dove:

- MD è la profondità media dell'intero sistema; la Profondità Media è calcolata dall'equazione:

$$MD = \frac{L}{(n-1)} \qquad (2)$$

dove L è la Profondità Totale (cioè la somma di tutte le sezioni possibili, dato un punto di partenza, da percorrere per raggiungere un punto della rete) e n è il numero totale di sezioni della rete;

- K il numero di nodi nella rete.

Le variabili globali sono quelle che correlano ogni linea assiale rispetto a tutte le altre linee del sistema, mentre quelle locali misurano l'accessibilità fino ad un raggio di 300 m.

Il tipo di analisi che meglio tiene conto delle caratteristiche geometriche, topologiche e angolari della rete e che produce i migliori risultati in termini di previsione dei flussi di traffico è l'Analisi del Segmento Angolare con Raggio Metrico; ovvero un'analisi, effettuata su una rete costituita da segmenti, basata sul calcolo della profondità angolare di ciascuna sezione in relazione alle altre sezioni della rete, impostando un buffer con raggio metrico finito all'interno del quale valutare tali connessioni tra le sezioni[4].

La profondità angolare è la "distanza" che separa una coppia di tronchi, dove questa è intesa come la somma delle variazioni angolari delle sezioni, dall'origine alla destinazione del percorso. La variazione angolare rappresenta il "costo" della mossa. Secondo Hillier, infatti, la capacità dell'utente della strada di pianificare il percorso più conveniente dal punto A al punto B è legata alla percezione che egli ha della distanza da percorrere, che viene inconsciamente valutata non necessariamente rispetto alla lunghezza metrica del tragitto, ma in gran parte sulla base della sua tortuosità, espresso appunto come variazione angolare totale. L'utente è disposto ad andare oltre, "spendendo meno" in termini di tortuosità.

[4] Al_Sayed, 2018

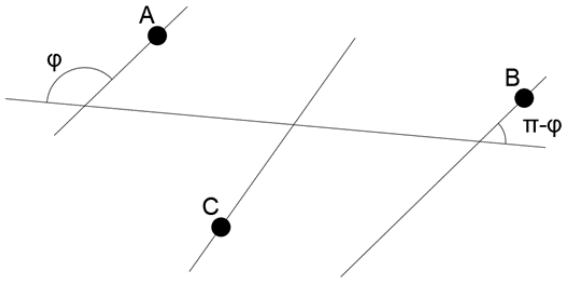


Fig. 1. Variazione angolare tra le sezioni della rete.

Il tutto viene valutato all'interno di un buffer con raggio metrico variabile a seconda dello scopo dell'analisi. Per la valutazione dei flussi pedonali in un centro urbano si assume solitamente un raggio di 400 m, corrispondente ad un tragitto di circa 5 minuti a piedi. Con questa restrizione, il sistema calcolerà le curve angolari di tutte le tratte entro 400 metri dalla tratta corrente; quelli oltre questo raggio non saranno calcolati. Il sistema identificherà solo le relazioni locali tra gli elementi entro 400 metri da ciascuno dei segmenti. Raggi più alti impongono una restrizione maggiore all'analisi, fino al raggio n, cioè nessuna restrizione spaziale: vengono considerate tutte le sezioni della rete. La scelta del raggio n può essere più adatta all'analisi dei flussi veicolari.

L'analisi così concepita restituisce, tra i tanti parametri configurazionali della rete, quelli di Integrazione (INT) e Scelta (CH), che racchiudono un significato intrinseco relativo alla probabilità che ogni tratto venga scelto o meno nei vari percorsi possibili da un'Origine ad una Destinazione. L'integrazione è un buon indicatore di come ciascuno dei segmenti possa essere una destinazione altamente desiderata dagli utenti; La scelta indica la probabilità che ogni segmento possa essere scelto dai pedoni come percorso più breve.

L'integrazione è stata correlata con i flussi pedonali, in diversi contesti[5][6][7], ottenendo bassi coefficienti di correlazione variabili tra 0,2 e 0,4; Pertanto è stato proposto di utilizzare un approccio ibrido che consentisse di ottenere previsioni migliori.

---

[5] Hiller, Penn, Hanson, Grajewski, & Xu, 1993

[6] Lerman, Rofè, & Omer, 2014

[7] Dai & Yu, 2013

Descrizione della procedura

L'analisi condotta in questo studio può essere suddivisa in due fasi.

Nella prima è stata ricostruita la rete stradale-pedonale, creando il rapporto spaziale di contiguità tra le sezioni censuarie e i tratti del sistema viario. I valori della popolazione residente (ricavati dall'ISTAT come di seguito descritto) nelle sezioni censuarie sono stati attribuiti come media alle sezioni della rete attraverso l'approccio di prossimità. Questo approccio correla le caratteristiche di ciascuno dei centroidi della rete con quelli circostanti, secondo una successione di buffer con raggio crescente (j th). I raggi del buffer vanno da 100 a 1600 metri, scelti sulla base di una funzione di impedenza che descrive la propensione al movimento (k) dei pedoni al variare della distanza da percorrere.

Di seguito è riportata la funzione di impedenza, con una tabella dei valori del fattore k in funzione dei valori di distanza assunti dai respingenti.

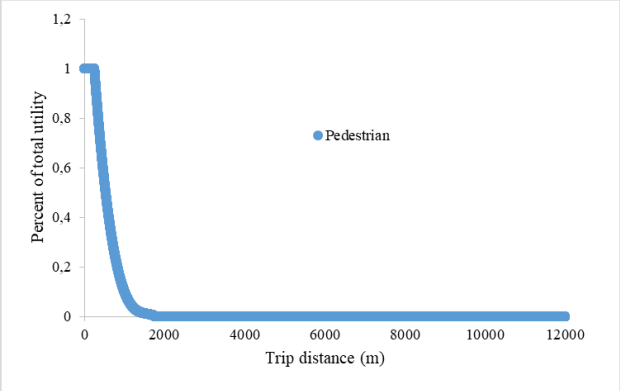


Fig. 2. Funzione di impedenza per il movimento pedonale.

Distance (m)	k
0	1
100	1
300	1
600	0.4
800	0.2
1000	0.1
1300	0.03
1600	0.01

Tab. 1. Valori di k in funzione della distanza d

Da notare come la propensione al movimento rimanga invariata al 100% da 0 a 300 m, per poi diminuire gradualmente fino a diventare praticamente nulla al raggiungimento dei 1600 m circa.

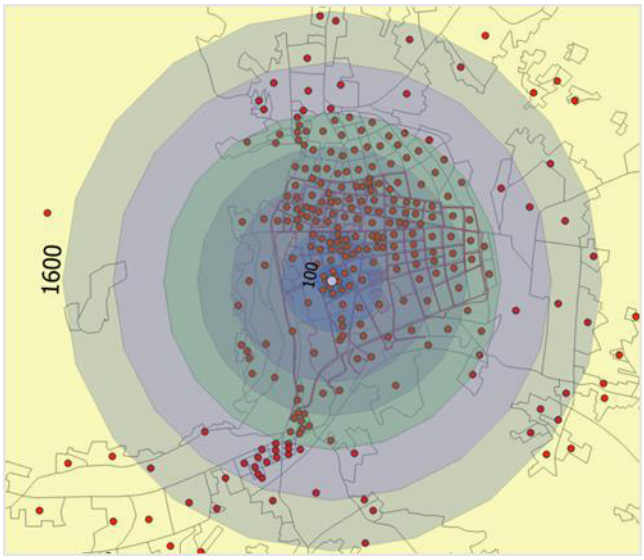


Fig. 3. Successione di buffer dal centroide della rete fino a 1600 m di distanza (preso da Qgis).

Per ottenere un coefficiente che esprima la capacità di ogni tratto di attrarre movimenti pedonali, è necessario moltiplicare i valori medi della popolazione M di ogni corona circolare per il rispettivo valore di k; quindi sommarli e ottenere un unico peso P_{prox} (peso di prossimità). Se si considerassero i valori di k della tabella precedente, le popolazioni di ciascuna corona circolare verrebbero moltiplicate per gli estremi superiori dei valori assunti da k in quell'intervallo spaziale. Per una distribuzione più uniforme e uniforme, si prende invece il valore medio (k_M) che k assume in ogni corona circolare.

Buffer	M.	k_M
0-100	M100m	1
100-300	M300m	1
300-600	M600m	0.7
600-800	M800m	0.3
800-1000	M1000m	0.15
1000-1300	M1300m	0.065
1300-1600	M1600m	0.02

$$P_{prox,i} = \sum_{j=100m}^{1600m} k_{Mj}\, M_{ij}$$

Fig. 4. Tabella dei valori medi di k per ogni corona circolare.

Per ogni centroide della rete si ottiene un peso P_{prox}; questo viene valutato ad una distanza crescente dal singolo centroide, tenendo conto dell'effettiva propensione degli utenti a spostarsi all'aumentare della loro distanza da esso. L'obiettivo è quello

di definire un fattore di peso, inteso come l'attrattività dei flussi pedonali in funzione della media della popolazione residente all'interno dell'anello circolare.

Nella seconda fase, i pesi utilizzati nell'analisi con la Sintassi Spaziale sono stati confrontati con i conteggi sulla rete, cercando una correlazione tra i valori. I risultati delle analisi ponderate sono stati confrontati con quelli dell'analisi non ponderata.

Costruzione della rete e raccolta delle variabili

Per calibrare il modello previsionale dei flussi pedonali è necessario partire dalla raccolta e dall'elaborazione dei dati sull'area centrale della città di Cassino (FR).

Si tratta di un comune di 36497 abitanti della provincia di Frosinone nel Lazio. Sorge ai piedi della collina di Montecassino, all'ombra della famosa abbazia benedettina. La città è la seconda più popolosa dell'intera provincia..

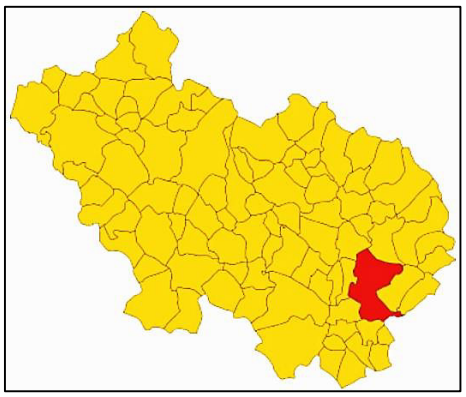


Fig. 5. In rosso la posizione del Comune di Cassino in provincia di Frosinone

Fig. 6. Fotogrammetria aerea del centro di Cassino.

Lo studio è stato condotto solo nell'area del centro.

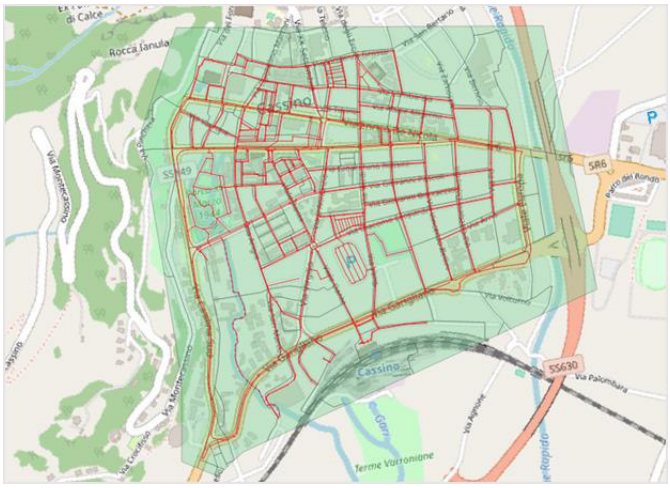


Fig. 7. Porzione del centro di Cassino interessata dallo studio.

La procedura può essere delineata come mostrato nel seguente diagramma di flusso.

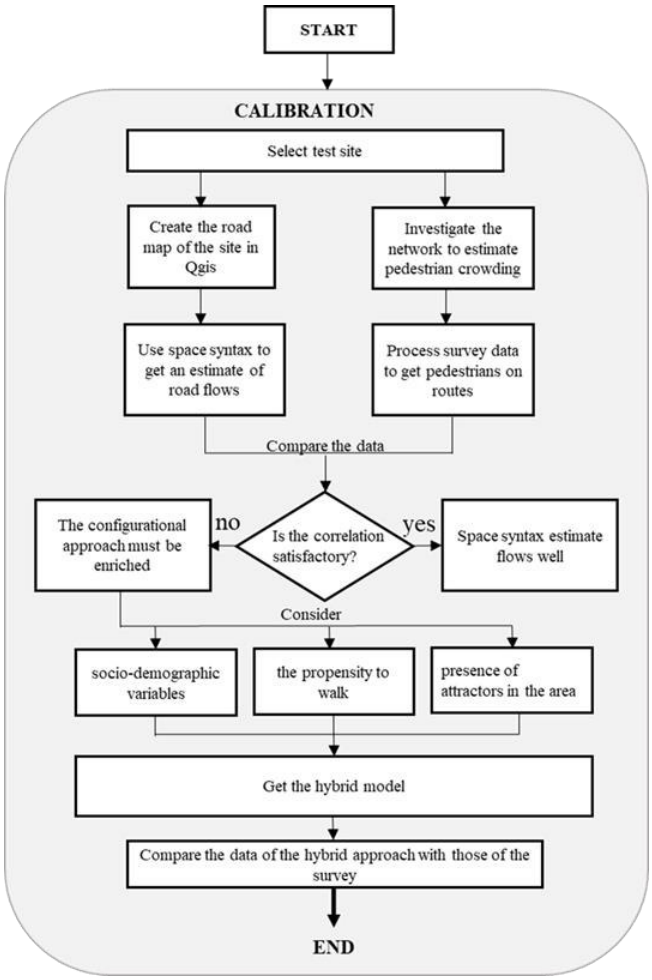


Fig. 8. Descrizione della procedura.

Prima di procedere con la definizione e l'applicazione della procedura, è necessario raccogliere i dati, partendo quindi dai dati relativi alle sezioni censuarie e socio-

demografiche dell'area. Successivamente viene ricostruita la rete stradale e, con l'ausilio dello strumento Field Calculator del QGIS, viene effettuata l'aggregazione tra i due layer Sezioni e Rete.

Dati socio-demografici

I dati necessari per l'analisi sono stati ricavati dal sito dell'Istat ed espressi in termini aggregati alla scala della singola sezione censuaria.

La sezione censuaria è l'unità minima di aggregazione dei dati censuari nel territorio comunale. Secondo la definizione Istat (2015), è costituito da un unico corpo delimitato da una linea tratteggiata chiusa. Sommando le sezioni del censimento, è possibile ricostruire le entità geografiche e amministrative di livello superiore (località abitate, aree subcomunali, circoscrizioni elettorali e altre).

Geometria	Valore
R12_11_WGS84	
Titolo	12
(Derivato)	
(Azioni)	
COD_REG	12.00000000000
COD_ISTAT	12060019.00000000000
PRO_COM	60019.00000000000
SEZ2011	60190000001
SEZ	1.00000000000
COD_STAGNO	0.00000000000
COD_FIUME	0.00000000000
COD_LAGO	0.00000000000
COD_LAGUNA	0.00000000000
COD_VAL_P	0.00000000000
COD_ZONA_C	0.00000000000
COD_IS_AMM	0.00000000000
COD_IS_LAC	0.00000000000
COD_IS_MAR	0.00000000000
COD_AREA_S	0.00000000000
COD_MONT_D	0.00000000000
LOC2011	6001926723.00000000000
COD_LOC	26723.00000000000
TIPO_LOC	2.00000000000
COM_ASC	0.00000000000
COD_ASC	0
ACE	0
Shape_Leng	430.81916619800
Shape_Area	8225.95793667000

Fig. 9. Attributi della Sezione 1 del Comune di Cassino.

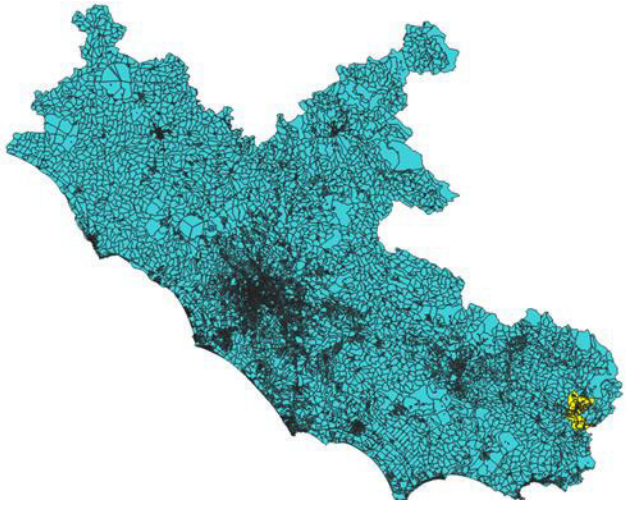


Fig. 10. Regione Lazio suddivisa nelle sue sezioni censuarie. Le sezioni del Comune di Cassino sono selezionate in giallo.

Dall'archivio online dei dati Istat (ISTAT) è stato quindi possibile reperire i dati statistici necessari, scaricati sotto forma di shapefile in modo che questi possano essere aperti dal software QGIS e da fogli di calcolo Excel da cui estrapolare i dati sulla popolazione.

Fig. 11. Sezioni censuarie costituenti il territorio comunale di Cassino.

Il territorio comunale è suddiviso in 689 sezioni censuarie e per ognuna di esse è possibile editare i dati socio-demografici dell'area, comprensivi dei dati sulla popolazione totale residente o organizzata per sesso, età e altro, nonché il numero e la tipologia degli edifici presenti. E' possibile inserire questi dati all'interno dello shapefile in QGIS eseguendo un'operazione di Join.

In questo modo si ottiene un layer QGIS costituito dalle varie sezioni censuarie del Comune di Cassino; ognuno dei quali conserva dati sulla sua geometria e posizione geografica, oltre alle informazioni socio-demografiche che lo caratterizzano. E' possibile individuare le aree del Comune a maggiore densità demografica e sulle quali sono presenti in maggior numero edifici residenziali e commerciali.

Geometria	Valore
R12_11_WGS84	
Titolo	12
(Derivato)	
(Azioni)	
COD_REG	12.00000000000
COD_ISTAT	12060019.00000000000
PRO_COM	60019.00000000000
SEZ2011	600190000001
SEZ	1.00000000000
COD_STAGNO	0.00000000000
COD_FIUME	0.00000000000
COD_LAGO	0.00000000000
COD_LAGUNA	0.00000000000
COD_VAL_P	0.00000000000
COD_ZONA_C	0.00000000000
COD_IS_AMM	0.00000000000
COD_IS_LAC	0.00000000000
COD_IS_MAR	0.00000000000
COD_AREA_S	0.00000000000
COD_MONT_D	0.00000000000
LOC2011	6001926723.00000000000
COD_LOC	26723.00000000000
TIPO_LOC	2.00000000000
COM_ASC	0.00000000000
COD_ASC	0
ACE	0
Shape_Leng	430.81916619800
Shape_Area	8225.95793667000
orig_ogc_fid	31688
_P1	31
_E3	2
_E4	0

Fig. 12. Aggiunta dei campi "_P1" (Popolazione residente), "_E3" (Edifici residenziali), "_E4" (Edifici commerciali).

Tuttavia, queste analisi sono strettamente correlate alle caratteristiche geometriche e topologiche della rete, che potrebbero distorcere i risultati se non si tenesse conto delle singolarità presenti nell'area di analisi. Per ovviare a questo problema, utilizzando il software Depthmap UCL, è possibile effettuare queste analisi attribuendo peso al calcolo delle caratteristiche configurazionali, costituite da eventuali peculiarità della rete, che funge da fattore moltiplicativo dei valori ottenuti senza peso. Il metodo più utilizzato è quello di attribuire il peso in base alla lunghezza di ogni segmento. Principalmente perché i tratti stradali più lunghi sono probabilmente caratterizzati da un maggior numero di ingressi su entrambi i lati, portando di conseguenza a tassi di movimento più elevati. Ciò è particolarmente vero per il movimento pedonale e per le analisi con raggi metrici ridotti.

L'idea alla base di questo studio è, invece, quella di utilizzare come pesi quantità come la popolazione o il numero di edifici commerciali e residenziali che insistono su ciascuna sezione. Ciò deriva dalla considerazione che, sebbene un'area della rete viaria possa essere geometricamente e topologicamente "attrattiva" (ben collegata e integrata) essa sarà interessata da flussi pedonali quantitativamente diversi a seconda della popolazione residente e a seconda che siano presenti o meno nell'area di elementi a forte capacità attrattiva quali grandi complessi residenziali e/o commerciali.

Le analisi così effettuate con il software Depthmap UCL restituiscono diverse rappresentazioni tematiche della rete stradale, con le sezioni che differiscono tra loro in base al valore assunto per una data grandezza calcolata dall'analisi.

La realizzazione della rete

Alcuni aspetti implementativi relativi alla costruzione del modello vengono analizzate nel prosieguo.

1. Realizzazione della rete pedonale

Al fine di effettuare un'analisi il più realistica possibile, è stato necessario riprodurre al meglio l'effettiva scelta del pedone, per questo motivo è stato necessario rappresentare ogni strada seguendo la progressiva.

Per ogni strada sono stati tracciati i tratti corrispondenti ai due marciapiedi, attraversabili in entrambe le direzioni, uniti da attraversamenti pedonali ove presenti.

Non essendo disponibile una rete di questo tipo, è stato necessario "disegnarla" direttamente sul QGIS, prendendo come riferimento le strade mostrate sulla Open Street Map. Sul QGIS è stata poi inserita la mappa come sfondo su cui è stata tracciata la rete pedonale come un layer lineare, costituito solo da sezioni spezzate. Ciò è dovuto

al fatto che l'analisi previsionale di Space Syntax Toolkit richiede un grafico costituito da segmenti indipendenti.

Fig. 13. Utilizzo di Open Street Map nella costruzione della rete pedonale (tratto da Qgis).

Poiché il livello di dettaglio di Open Street Map, così come di Google Maps o di altre mappe di base simili, non consente di visualizzare gli attraversamenti pedonali, è stato creato un collegamento con Google Satellite per progettarli[8] . In alcuni casi, la risoluzione non era sufficiente per visualizzare correttamente le strade e gli incroci. È stato quindi utilizzato Google Earth.

Fig. 14. Utilizzo di Google Satellite nella realizzazione della rete pedonale (tratto da Qgis).

[8] Geogeek.xyz, 2018

La maggiore criticità per quanto riguarda il tracciamento della rete pedonale si è verificata in alcune zone del centro di Cassino dove si evidenzia la mancanza di attraversamenti pedonali. Pertanto, seguendo l'attuale tracciato stradale, si sono formate delle "isole", ovvero porzioni di rete scollegate dal resto del grafico.

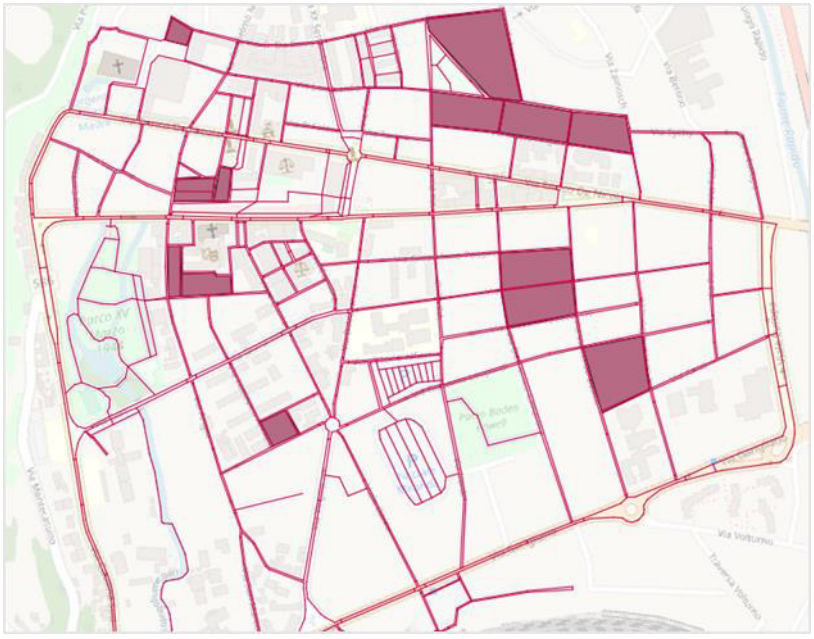


Fig. 15. Zone isolate del centro in quanto prive di attraversamenti pedonali (tratto da Qgis).

In queste zone, se i pedoni seguissero alla lettera il codice della strada, non potrebbero spostarsi nelle aree adiacenti della rete pedonale. Realisticamente, questo non accade mai, infatti, in questi casi il pedone è costretto ad attraversare la strada in assenza di attraversamento pedonale, con evidenti rischi per la sua incolumità.

Una recente verifica effettuata con il navigatore di Google sembra confermare che la mancanza di connettività per tali aree permane e pertanto si suggerisce di prevedere la realizzazione di un numero adeguato di attraversamenti pedonali di raccordo.

1. Calcolatore di campo QGIS

L'impiego di uno strumento di gestione dei database geografici ha consentito di effettuare le valutazioni dei pesi secondo diversi criteri di tipo tecnico-scientifico ed i relativi calcoli

Una volta definita la rete, è stato calibrato il modello Space Syntax, attribuendo, ad ogni sezione, un peso legato alla popolazione residente nelle varie sezioni di censimento. Il calcolo di questo peso è stato definito con l'implementazione del peso

gravitazionale. Pertanto, ogni tratto della rete e ogni sezione di censimento sono stati semplificati considerando i rispettivi centroidi (conservando le informazioni contenute nella geometria da cui provengono).

Si ottengono due nuovi strati, uno con i centroidi delle sezioni censuarie e l'altro con i centroidi delle sezioni pedonali. In entrambi i casi, ogni centroide contiene nei suoi attributi gli stessi campi e dati della geometria da cui proviene (sezione o elemento).

Fig. 16 Centroidi delle sezioni censuarie (in blu) e delle sezioni della rete (in rosso) (tratte da Qgis).

Una volta che le informazioni sulla popolazione sono state trasferite dai centroidi di sezione ai centroidi di rete, i rispettivi valori dei pesi di prossimità (Pprox) vengono associati alle sezioni della rete e quindi viene avviata l'analisi previsionale.

È quindi possibile passare alla fase di analisi delle previsioni utilizzando infine lo Space Syntax Toolkit (SST) basandosi su diversi casi studio e metodologie di implementazione proposte nella letteratura tecnico-scientifica[9,10].

Rilievo dei pedoni

Sono stati effettuati dei conteggi su alcuni dei tratti stradali principali o comunque caratterizzati dalla presenza di diversi attrattori.

[9] Hillier & Iida, 2005

[10] Cutini

Per determinare i flussi, è necessario:

1. definire un bacino di utenza in base all'ambiente urbano preso in considerazione,
2. effettuare ricerche sulle capacità attrattive inerenti alla richiesta di viaggio,
3. Determinare le fasce orarie ipotetiche e i giorni critici.

Questi elementi comportano un elevato grado di complessità in quanto legati, direttamente o indirettamente, all'imprevedibilità e alla variabilità del comportamento umano.

Negli ultimi decenni si sono diffuse molto le indagini sui flussi pedonali sia in ambienti indoor che outdoor (privati, pubblici e commerciali); Di conseguenza, sono state sviluppate molte tecniche di rilevamento. Nel caso di specie, si è deciso di utilizzare una tecnica innovativa in questo campo: la tecnica dell'osservatore mobile.

Questa tecnica prevede che il suo rilievo sia condotto da un veicolo sonda opportunamente geo-referenziato e dotato di dispositivi di registrazione video, che si muove lungo il percorso da esaminare.

Questa tecnica ha il vantaggio di avere l'operatore umano che non solo ha la capacità di rilevare il pedone ma può riconoscerne il tipo, come si muove e in quale direzione.

Per determinare il percorso, sono state prese in considerazione le aree di attrazione al fine di rilevare i flussi pedonali in entrata, in uscita e in transito.

Queste aree sono state individuate a partire dal paniere dei prezzi al consumo Istat dell'anno 2019 che focalizza le categorie merceologiche ed i bisogni degli abitanti. Questo approccio consente di individuare le categorie di servizi di base che possono essere di interesse per la popolazione, tenendo conto delle abitudini delle famiglie e del tessuto socio-economico della società in relazione alla propensione ad effettuare uno spostamento a piedi per soddisfare tali esigenze (ISTAT, 2019).

Fig. 17 ISTAT basket year 2019 (Source: https://www.istat.it/it/files//2019/02/infograficaPaniere.pdf - 19/8/2019)

Considerando gli spostamenti di tipo sistematico ed accidentale, i seguenti sono considerati punti interessanti:

1. Istruzione: scuole di ogni ordine e grado, private o pubbliche.
2. Sanità: ambulatori medici, centri di analisi, ambulatori per anziani, farmacie e strutture mediche di ogni genere.
3. Trasporti: stazione ferroviaria, le principali fermate degli autobus delle linee urbane ed extraurbane, ampi parcheggi non a pagamento,
4. Servizi: commerciali, turistici, ricreativi, ricettivi e di ristorazione.
5. Uffici aziendali, postali, comunali e giudiziari.
6. Aree verdi: Parchi e giardini.
7. Aree di interesse culturale: musei e siti archeologici.
8. Aree di mercato.
9. Aree pedonali.

Tenendo conto di queste considerazioni preliminari, sono stati definiti due itinerari (uno per un giorno feriale e uno per un giorno festivo), entrambi aventi lo stesso punto di partenza e di arrivo, identificato con la rotatoria nei pressi dell'area dell'anfiteatro romano.

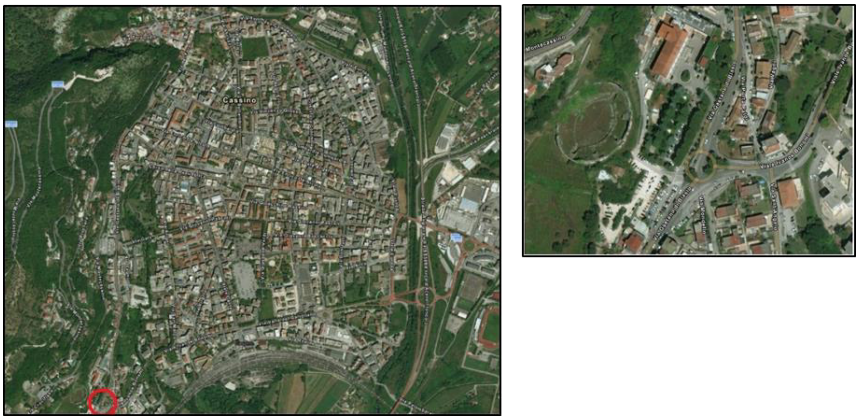


Fig. 18 Bing Mappe Veduta aerea; a sinistra, cerchiata in rosso, la posizione della rotatoria nell'area dell'anfiteatro romano di Cassino e a destra ingrandita nel dettaglio.

Fig. 19 Google street view, rotatoria nella zona dell'anfiteatro romano di Cassino, prima uscita viale Bonomi; seconda via G. Di Biasio.

I percorsi, quindi, sono composti da una serie di tratti stradali le cui sezioni di estremità sono individuate in presenza di intersezioni, di soglie di arresto o di precedenza e di impianti semaforici. Questi vincoli nel percorso sono considerati come nodi con numeri distintivi e progressivi che determinano l'inizio e la fine di ogni sezione.

Tab. 2. Tabelle dei tratti stradali esistenti su strade e piazze del percorso di rilevamento

WEEKDAY ROUTE	
PIAZZA WAY	ROAD SECTION
VIALE BONOMI	0--1
VIALE BONOMI + VIA GARIGLIANO	1--2
VIA GARIGLIANO	2--3
VIALE EUROPA	3--4; 30--3
VIA E. DE NICOLA	4--5
VIA E. DE NICOLA	5--6
VIA E. DE NICOLA	6--7
VIA E. DE NICOLA	7--8
VIA E. DE NICOLA + VIA R.DA S. GERMANO	8--9
COURSE OF THE REPUBLIC	9--10
COURSE OF THE REPUBLIC	10--11
VERDI STREET	11--12
COURSE OF THE REPUBLIC	11--26
VIA VIRGILIO	13--14
VIALE DANTE NORD	14--34--15
VIA D'ANNUNZIO	16--14
VIALE DANTE SUD	14--1
VIA G. DI BIASIO	0--9
VIA CONDOTTI	17--18
VIA VARRONE (PART)	18--19
VIA TOSTI	19--20
VIA S. CROCE	20--21
VIA S. GERMANO	21--22
VIA LOMBARDIA	22--23
VIA LOMBARDIA	23--24
VIA LOMBARDIA	24--25
VIA ZAMOSC (PART)	25--26
VIA DONIZETTI	26--27
VIA DONIZETTI (PART)	27--35
VIA ARNO	35--30

PRE-HOLIDAY ROUTE	
PIAZZA WAY	ROAD SECTION
VIALE BONOMI	0--1
VIALE BONOMI + VIA GARIGLIANO	1--2
VIA GARIGLIANO	2--3
VIALE EUROPA	3--4; 30--3
VIA E. DE NICOLA	4--5
VIA E. DE NICOLA	5--6; 31--6
VIA E. DE NICOLA	6--7
VIA E. DE NICOLA	7--8
VIA E. DE NICOLA + VIA R.DA S. GERMANO	8--9
COURSE OF THE REPUBLIC	9--10
COURSE OF THE REPUBLIC	10--11
VERDI STREET	11--12
COURSE OF THE REPUBLIC	11--31
VIA VIRGILIO	13--14
VIALE DANTE NORD	34--14
VIA D'ANNUNZIO	16--14
VIALE DANTE SUD	14--1
VIA G. DI BIASIO	0--9
VIA CONDOTTI	17--18
VIA VARRONE (PART)	18--19
VIA TOSTI	19--20
VIA S. CROCE	20--21
VIA S. GERMANO	21--22
VIA LOMBARDIA	22--23
VIA LOMBARDIA	23--24
VIA LOMBARDIA	24--25
VIA ZAMOSC (PART)	25--26
VIA DONIZETTI	26--27
VIA G. PASCOLI	27--28
VIA PO	28--29
VIA ARNO (PART)	29--30

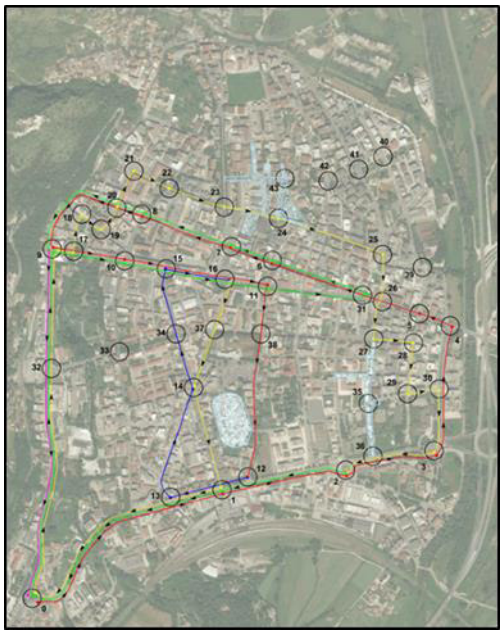


Fig. 20 Itinerario prefestivo.

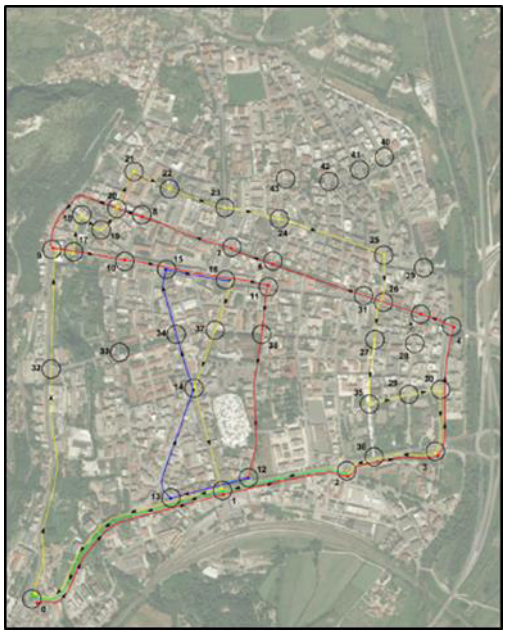


Fig. 21 Itinerario feriale.

Il limite del rilievo con la tecnica manuale dell'osservatore mobile è il fatto che il campionamento avviene per meno di un minuto, quindi spesso i dati sono meno

numerosi rispetto alla realtà e sono più dispersi; Per questo motivo è necessario effettuare un maggior numero di indagini.

Tuttavia, la suddetta tecnica implica l'impiego di più operatori per la compilazione di appositi moduli creati in fase di progettazione del rilievo; Per ovviare a questo problema e permettere ad un solo operatore di effettuare la ricerca, si è deciso di aggiungere un supporto tecnologico basato sulla "rilevazione con immagini video". E' stato infatti ideato un sistema di monitoraggio installato a bordo del veicolo e composto da dispositivi che acquisiscono e memorizzano continuamente i dati. Questi, in una fase successiva, sono stati elaborati e analizzati dall'operatore.

Per effettuare l'indagine, due dispositivi smartphone (con sistema operativo Android) su cui sono state installate app gratuite che permettessero la raccolta dei dati di interesse. Pertanto, sono stati installati:

1. Timestamp gratuito della fotocamera che è in grado di registrare immagini video ad alta risoluzione (1280x720), di sovrapporre la data, l'ora, il nome della via, il comune, la provincia e la regione in cui si trova, nonché la posizione GPS; anche se è impossibile ottenere i dati sotto forma di file modificabili.
2. GPS Logger, invece, permette di estrapolare i dati relativi alla data, all'ora, alla posizione GPS (espressa in latitudine e longitudine) del veicolo di osservazione che si muove lungo il percorso; in quanto memorizza e restituisce tutto in file facilmente elaborabili ma non può registrare immagini video.

Fig. 22 Posizionamento dei dispositivi sul parabrezza.

È stato stabilito con quale software i dispositivi dovessero operare, come installarli fisicamente all'interno dell'abitacolo e come recuperare e archiviare i dati per successive analisi. Le campagne di misurazione sono state poi condotte considerando

sia i giorni feriali che i prefestivi. Il primo ha permesso di catturare i movimenti associati alla presentazione di scuole, uffici e negozi. Mentre nei prefestivi si sono registrati i flussi mattutini legati alla presenza dei mercati rionali, mentre in serata si sono registrati i movimenti influenzati dall'attivazione delle aree pedonali temporanee.

Le fasce orarie analizzate sono le più caricate:

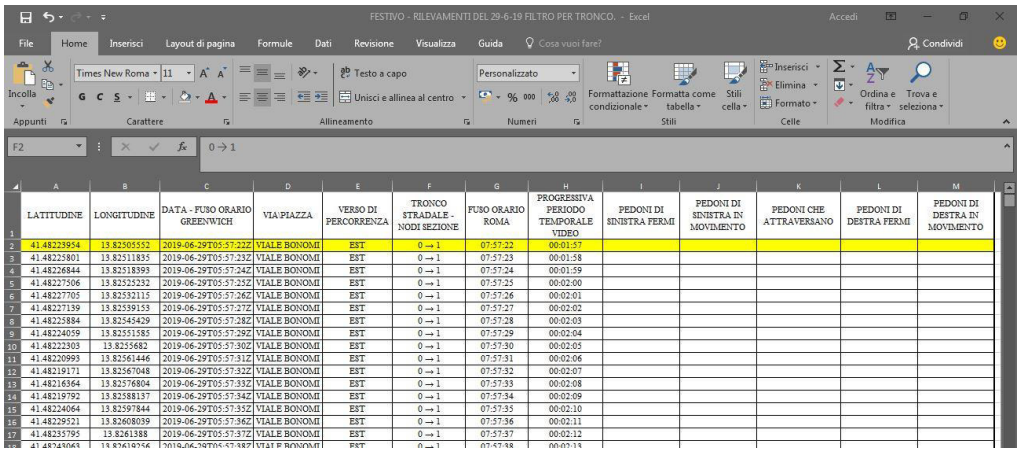
1. Nei giorni feriali vanno dalle 8.00 alle 9.00, (per l'arrivo di studenti, impiegati, negozianti e artigiani nei luoghi di lavoro), dalle 12.00 alle 14.00 (orario di uscita dalle scuole e pausa pranzo) e la sera dalle 18.00 alle 19.00 (gli operai e gli eventuali studenti ancora in zona rientrano a casa).
2. Nella giornata prefestiva sono state analizzate tre fasce orarie al mattino (8.00-9.00, 9.00-10.00, 10.00-11.00) per facilitare il passaggio in prossimità delle aree mercatali e una serale (20.00-21.00) per attraversare le aree a ridosso di quelle pedonali temporanee. Sono stati effettuati quattro giri completi sull'itinerario previsto per le giornate prese in esame.

Al fine di rilevare correttamente i flussi, ove possibile, e di avere almeno due punti di vista, i tratti sono stati percorsi in entrambe le direzioni di un tratto stradale, mantenendo velocità inferiori ai 30 km/h.

Elaborando i dati dell'indagine, sono stati ottenuti:

1. il numero di pedoni presenti sui tratti (divisi per categorie: pedoni sul marciapiede destro, pedoni sul marciapiede sinistro ed in attraversamento pedonale);
2. le posizioni geolocalizzate dei pedoni (in modo da sapere dove sono stati rilevati);
3. gli istanti temporali di identificazione dello specifico pedone rilevato sul percorso.

Le informazioni sono state ottenute effettuando un post-processamento dei flussi video per ottenere dati quantitativi da visualizzare su un foglio di lavoro (spreadsheet).



	LATITUDINE	LONGITUDINE	DATA - FUSO ORARIO GREENWICH	VIA\PIAZZA	VERSO DI PERCORRENZA	TRONCO STRADALE - NODI SEZIONE	FUSO ORARIO ROMA	PROGRESSIVA PERIODO TEMPORALE VIDEO	PEDONI DI SINISTRA FERMI	PEDONI DI SINISTRA IN MOVIMENTO	PEDONI CHE ATTRAVERSANO	PEDONI DI DESTRA FERMI	PEDONI DI DESTRA IN MOVIMENTO
2	41.48223954	13.82505552	2019-06-29T05:57:22Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:22	00:01:57					
3	41.48225801	13.82511835	2019-06-29T05:57:23Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:23	00:01:58					
4	41.48226844	13.82518393	2019-06-29T05:57:24Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:24	00:01:59					
5	41.48227506	13.82525232	2019-06-29T05:57:25Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:25	00:02:00					
6	41.48227705	13.82532115	2019-06-29T05:57:26Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:26	00:02:01					
7	41.48227139	13.82539153	2019-06-29T05:57:27Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:27	00:02:02					
8	41.48225884	13.82545429	2019-06-29T05:57:28Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:28	00:02:03					
9	41.48224059	13.82551585	2019-06-29T05:57:29Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:29	00:02:04					
10	41.48222303	13.8255682	2019-06-29T05:57:30Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:30	00:02:05					
11	41.48220993	13.82561446	2019-06-29T05:57:31Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:31	00:02:06					
12	41.48219171	13.82567048	2019-06-29T05:57:32Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:32	00:02:07					
13	41.48216364	13.82576804	2019-06-29T05:57:33Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:33	00:02:08					
14	41.48219792	13.82588157	2019-06-29T05:57:34Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:34	00:02:09					
15	41.48224064	13.82597844	2019-06-29T05:57:35Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:35	00:02:10					
16	41.48229521	13.82608039	2019-06-29T05:57:36Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:36	00:02:11					
17	41.48235795	13.8261388	2019-06-29T05:57:37Z	VIALE BONOMI	EST	0 → 1	07:57:37	00:02:12					

Fig. 23 Foglio di calcolo EXCEL.

Il post-processamento ha previsto anche l'utilizzo di software di video editing.

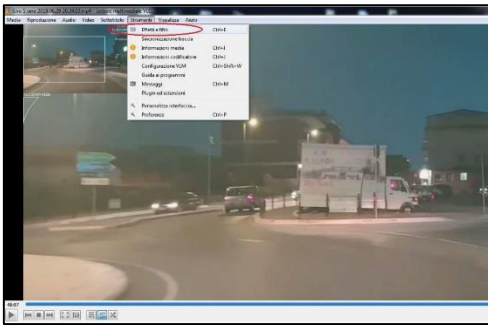


Fig. 24 Lettore multimediale VLC, accesso al pannello: Effetti video.

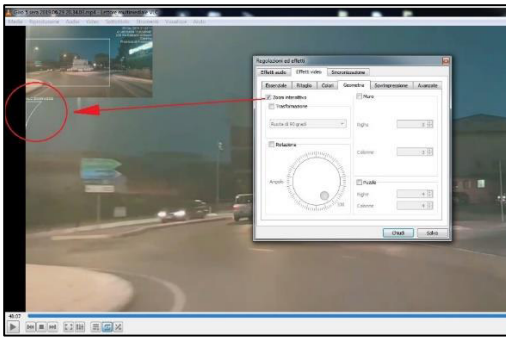


Fig. 25 Lettore multimediale VLC, Effetti video, Geometria, Zoom interattivo.

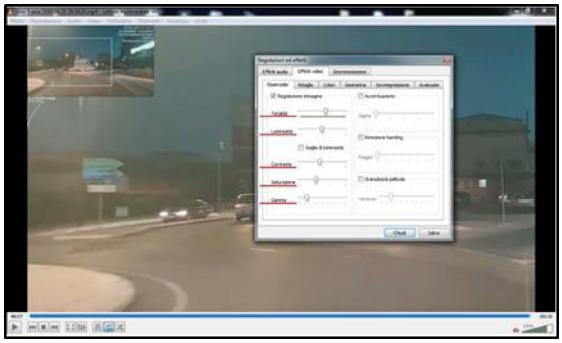


Fig. 26 VLC Media Player, Effetti video, Essenziale.

I video relativi allo stesso tratto stradale sono stati visionati almeno tre volte consecutive, al fine di verificare la correttezza delle informazioni raccolte. Poi è stato annotato il numero di pedoni in movimento o fermi in corrispondenza del periodo

temporale progressivo del video. Avendo preventivamente implementato il foglio di calcolo con i valori derivanti da GPSLogger (longitudine, latitudine e fuso orario) e sincronizzato il tempo di ripresa, è stato possibile posizionare, all'interno del foglio, i suddetti parametri relativi ai pedoni, ottenendo una corrispondenza tra loro.

Questo è stato utile per avere una rappresentazione QGIS dei pedoni all'interno dell'area di studio.

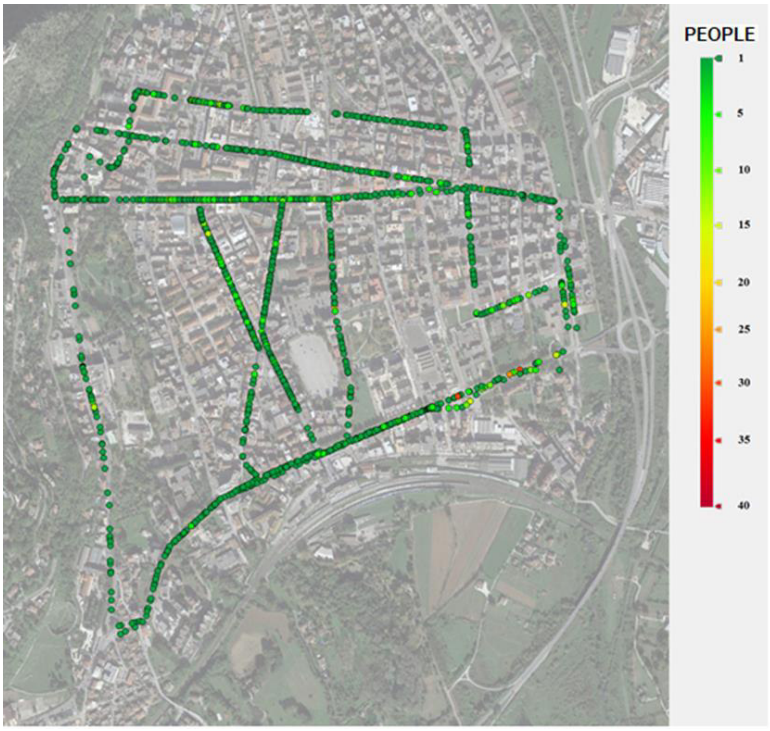


Fig. 27 Rappresentazione QGIS dei pedoni rilevati e presenti sul percorso di studio nello scenario feriale.

Risultati dell'analisi previsionale

Dalle analisi con la Space Syntax (Qgis) si ottengono risultati diversi a seconda del tipo di peso utilizzato. Di seguito è riportata la rappresentazione tematica della rete con una legenda specifica per distinguere i valori del parametro “Integration” al variare dei colori. Si è deciso di focalizzare l'attenzione su questo parametro in particolare in quanto da evidenze sperimentali, risulta essere quello che maggiormente si riferisce al movimento pedonale effettivamente osservato sulla rete.

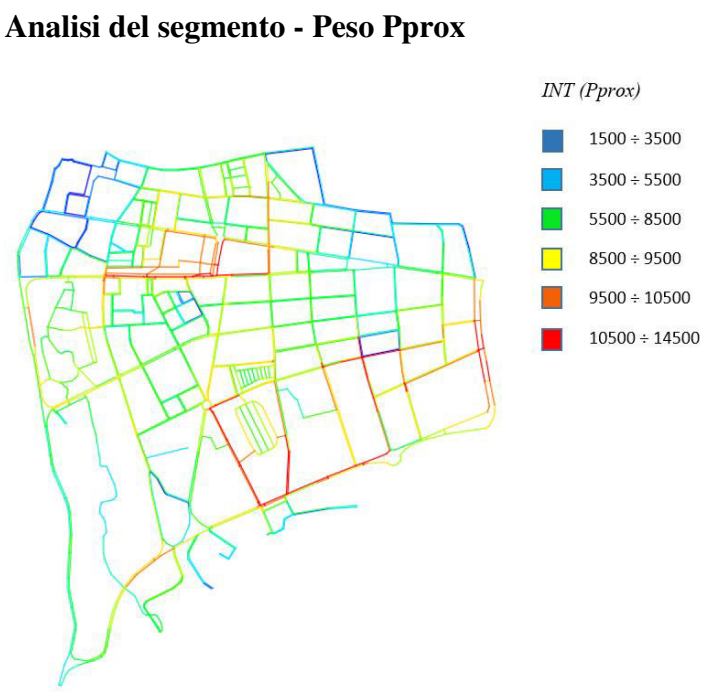


Fig. 28 Rappresentazione tematica dei risultati dell'analisi ponderata con Pprox, con legenda dei valori di Integrazione in base ai colori.

Nell'analisi ponderata con P_{prox} entra in gioco l'effetto combinato della distribuzione geografica della popolazione e del pedone disposto a spostarsi. L'area centrale presenta dei valori di Integration elevati (10.000 - 12.000), a causa della connettività delle sezioni, valori però inferiori rispetto alle aree più rosse situate a sud (in prossimità della stazione ferroviaria) e al limite orientale dell'area di studio. In queste aree, infatti, è presente una maggiore popolazione residente, che definisce necessariamente una maggiore quantità di spostamenti giornalieri.

Pesi correttivi

Al fine di migliorare l'efficienza nella previsione sono stati introdotti ulteriori pesi legati alla presenza di attrattori sullo specifico modo pedonale. Tra i diversi attrattori si è focalizzata l'attenzione sugli esercizi commerciali, considerando che l'utente del trasporto si reca a piedi a questi servizi solo se non è costretto a viaggiare troppo. l'approccio ibrido è stato "corretto" incorporando un ulteriore fattore moltiplicativo Kshop come descritto di seguito.

È stato effettuato un preliminare censimento di tutti gli attrattori della zona legati alla presenza di esercizi commerciali attraverso rilievi virtuali effettuati con programmi di navigazione (cfr. Google Maps).

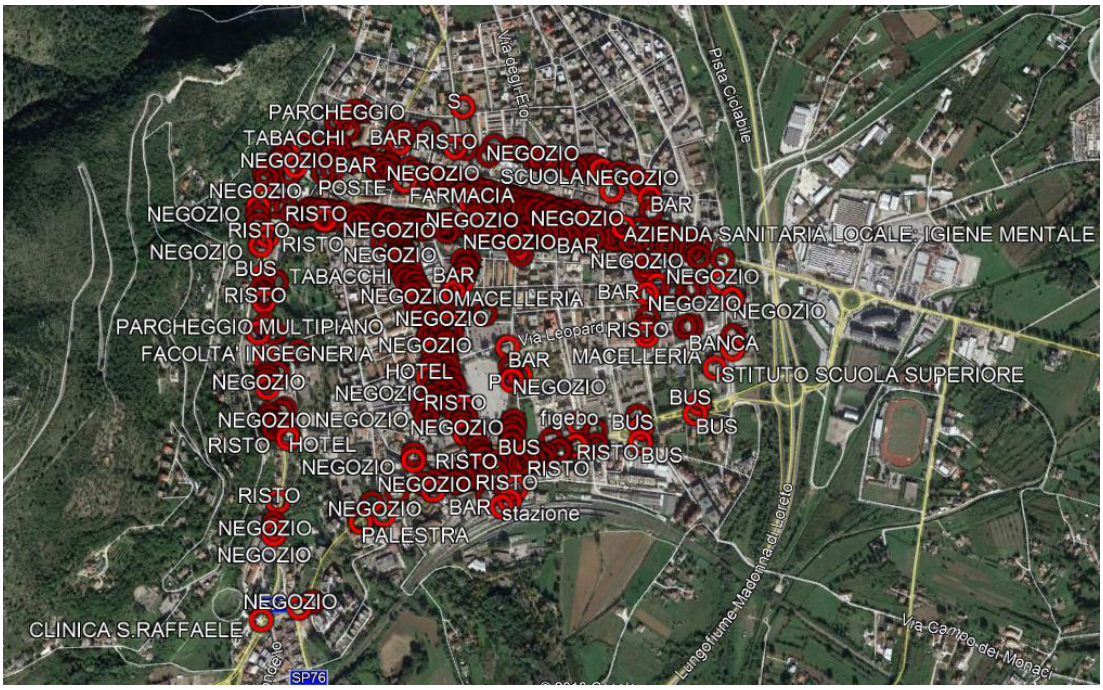


Fig. 29 Identificazione degli attrattori presenti nell'area di studio.

L'analisi effettuata ha permesso di individuare i vari attrattori come bar, ristoranti, negozi di alimentari, negozi di scarpe, negozi di abbigliamento, ecc. che sono stati raggruppati sotto il nome di Negozi. Un'ulteriore indagine sulle attività di vendita al dettaglio è stata effettuata il sabato, quando nel centro di Cassino sono in funzione diverse aree di mercato all'aperto.

Rilevata la presenza di tali entità, queste sono state segnalate su ciascuna sezione della rete dell'area di studio. Per tenerne conto nelle simulazioni, è necessario inserire un peso correttivo.

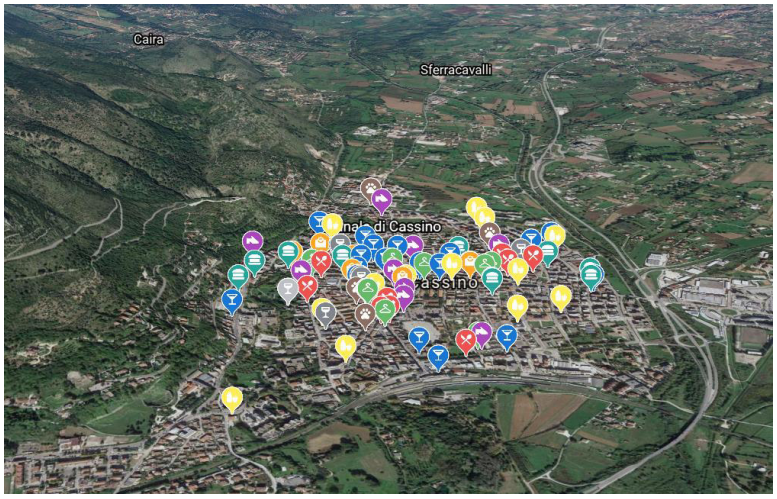


Fig. 30 esercizi commerciali presenti in rete.

Si considera poi che l'utente usufruisca di questi servizi a piedi solo se non è costretto a spostarsi troppo, quindi partendo dall'approccio di prossimità è stato "corretto" aggiungendo un fattore moltiplicativo K_{shop}.

Tale peso viene valutato considerando non solo la densità di negozi su ciascuna tratta della rete (espressa come rapporto tra il numero di negozi presenti sul singolo tratto e il numero massimo di negozi valutati sull'intera rete, al fine di considerare l'attrattività dello specifico tratto stradale) ma anche la durata media espositiva dei negozi (espressa in termini di percentuale di negozi sul fronte strada).

In assenza di esercizi commerciali lungo il percorso, è stato proposto il criterio gravitazionale secondo il quale l'utente tende a raggiungere tratti stradali adiacenti dove vengono erogati vari servizi. Il peso gravitazionale P (prox_shop) è stimato considerando l'influenza dell'area circostante. Secondo l'approccio proposto, viene valutato il numero di negozi che rientrano nelle corone circolari di 300 m e un chilometro, moltiplicati per il loro coefficiente attrattivo e normalizzato per il numero totale di negozi della zona.

$$K_{shop} = \begin{cases} P\,(prox_shop) * \frac{L_{average\ shops}}{L_{total\ treats}} & \text{if n ° shops = 0} \\ P\,(prox_shop) * * \frac{L_{average\ shops}}{L_{total\ treats}} \frac{\text{n°shops}}{\text{n°maximum number of stores on the network}} & \text{if n ° shops} \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Dove P (prox_shop) è valutato come:

$$P(\text{prox_shop}) = \begin{cases} \dfrac{1*n^{\circ}_{\text{shops } 0-300\text{ m}} + 0.3*n^{\circ}_{\text{shops } 300-1000\text{ m}}}{n^{\circ}_{total\ shops\ 0-1000\ m}} & \text{if } n^{\circ} \text{ shops} = 0 \\ 1 & \text{if } n^{\circ} \text{ shops} \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Dove $n^{\circ}_{\text{shop 0-300 m}}$ rappresenta il numero di negozi che rientrano nel raggio di 300 m e $n^{\circ}_{\text{shop 300-1000 m}}$ è il numero di negozi che ricadono nel buffer compreso tra 1000 m e il raggio di 300 m.

Il nuovo fattore K_{shop} è stato incorporato nella valutazione del peso a seguito dell'analisi configurazionale al fine di valutare una correlazione con l'attività pedonale per ogni tratto stradale esaminato. Con l'approccio ibrido così sviluppati si ottengono correlazioni significativamente soddisfacenti. È stato inoltre ricavato un coefficiente di correlazione di Pearson (P) di circa 0,94 (vedi **Fig.31**) tra i flussi pedonali stimati e quelli misurati. Ciò dimostra che i flussi pedonali sono influenzati non solo dalla configurazione della rete ma anche dalla presenza di particolari attrattori.

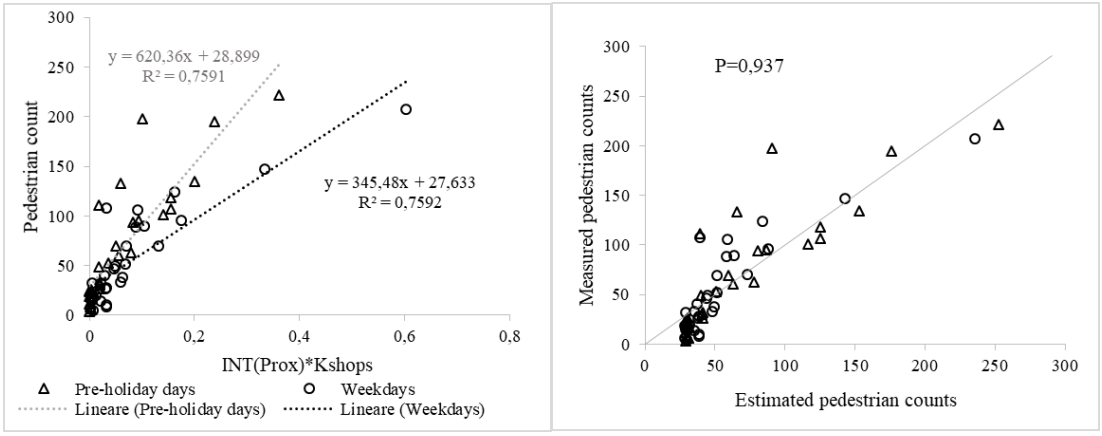


Fig. 31 Risultati con analisi ibrida ponderata.

Un modello di regressione lineare statistica è stato utilizzato per descrivere la correlazione tra il numero di pedoni misurato per singolo passaggio e la variabile indipendente, INT(Prox) * Kshop.

Vale la pena notare che i modelli di regressione non lineari hanno mostrato peggiori performance. In effetti, a dispetto della sua semplicità, il modello lineare sembra evidenziare alcuni risultati importanti per i due scenari esaminati (feriali e prefestivi):

1. il termine costante è simile sia per i giorni feriali che per i giorni prefestivi, fornendo così la prova che esiste un "livello base" di attività pedonale che è indipendente dal giorno specifico della settimana;

2. la pendenza del modello è apparentemente diversa; Infatti, è molto più alta per i giorni prefestivi, a dimostrazione di una maggiore propensione dei cittadini a muoversi a piedi nei giorni precedenti le festività (forse anche per la presenza di diverse aree di mercato rionale che sono in grado di attirare più clienti anche dai comuni limitrofi).

Si evidenzia che come nei casi precedenti i risultati della correlazione siano comunque leggermente migliori nel caso del rilievo prefestivo il che può essere dovuto ad una maggior numerosità di utenti rilevati che si muovono sulla rete. Va inoltre rimarcato che i modelli creati risultano essere fortemente influenzati dalle caratteristiche dell'area in esame.

Analisi con dati post-Covid

Oltre alle analisi sopra descritte, sono state effettuate ulteriori analisi utilizzando dati nello scenario di post-Covid, considerando sia lo scenario feriale che quello prefestivo. I risultati sono illustrati in **Fig. 32** e **Fig. 33**.

Fig. 32 Percorso feriale post-Covid.

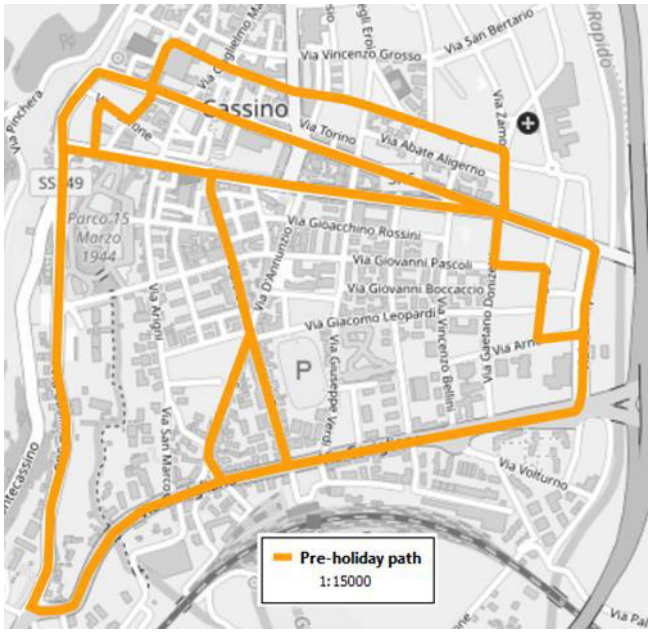


Fig. 33 Percorso pre-festivo post-Covid.

A seguito della post-elaborazione delle riprese video acquisite, sono stati ottenuti i dati di conteggio dei pedoni georeferenziati utili per il confronto finale.

Confrontando solo i dati dei conteggi pedonali della fase pre-pandemica (raccolti negli anni 2018 e 2019) con quelli post-Covid (raccolti a fine 2021 e inizio 2022) è stata evidenziata una significativa riduzione degli spostamenti a piedi per la maggior parte dei tratti stradali indagati (vedi **Fig. 34**).

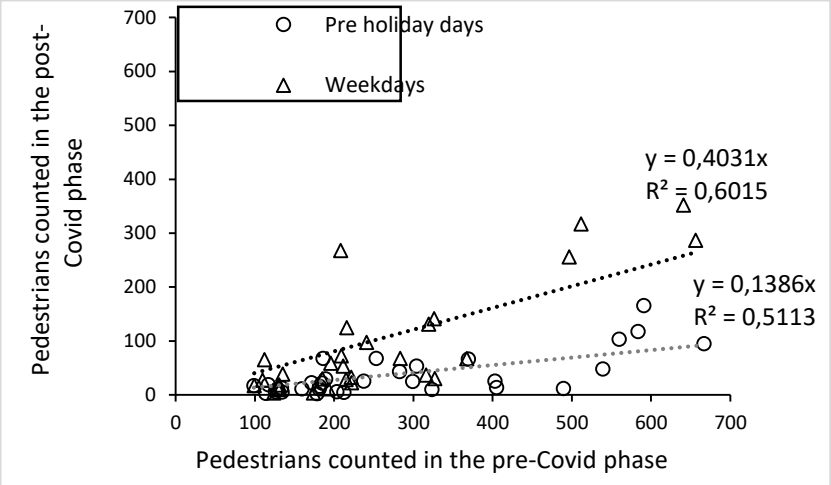
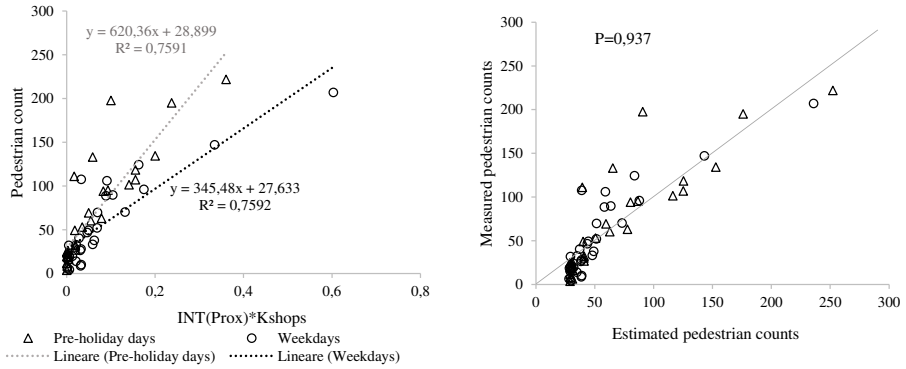


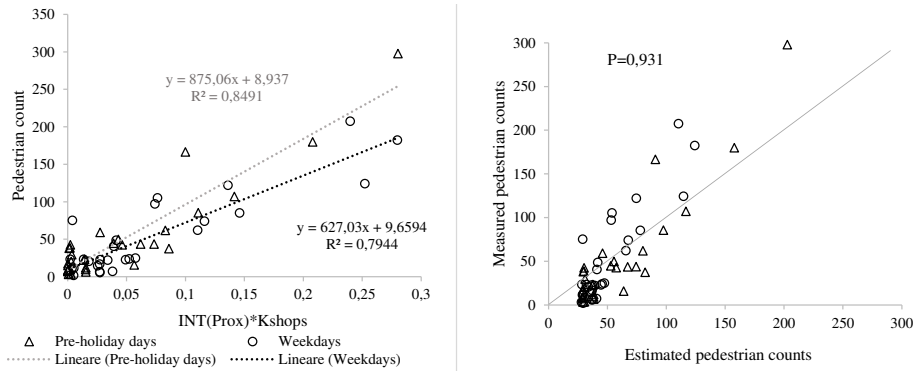
Fig. 34 Confronto tra il conteggio dei pedoni pre e post Covid.

Per applicare il corretto modello ibrido, calibrato nelle condizioni pre-pandemiche **Fig. 35**, sono state apportate le opportune revisioni per tenere conto delle variazioni dovute alle restrizioni che hanno caratterizzato il periodo successivo al lockdown o alla possibile chiusura o spostamento di attività commerciali nell'area di studio **Fig. 36**.



a) b)

Fig. 35 Pre Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti.



a) b)

Fig. 36 Post Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti.

Si può facilmente osservare che l'approccio ibrido, sia nello scenario pre che post-pandemico, presenta correlazioni abbastanza buone; infatti, per entrambi gli scenari si può ricavare un coefficiente di correlazione di Pearson (P) di 0,93 (vedi **Fig. 35**- **Fig. 36**).

Ciò dimostra che i flussi pedonali sono influenzati non solo dalla configurazione della rete ma anche dalla presenza di particolari attrattori (principalmente attività commerciali), tra i diversi parametri di uso del suolo diversi dalla distribuzione della popolazione (incorporati nel suddetto peso di prossimità). Pertanto, le variabili quantitative utilizzate sono ben correlate e il modello è statisticamente significativo.

Confrontando le condizioni pre e post-Covid, sia negli scenari festivi che in quelli feriali, si può facilmente notare che l'approccio basato su un modello di regressione lineare mostra un analogo accordo significativo (correlazione) con i dati misurati, fornendo così l'evidenza dell'affidabilità dell'approccio modellistico proposto.

Inoltre, per quanto riguarda il modello lineare, vale la pena sottolineare che:

- il parametro costante (intercetta) sembra essere diminuito, sia per i giorni feriali che per i giorni prefestivi, dimostrando la riduzione degli spostamenti "di livello base" dell'attività pedonale nello scenario post-pandemico;
- la pendenza del modello sembra essere maggiore per i dati raccolti nel periodo post-pandemico rispetto a quelli relativi al periodo pre-Covid, forse a causa della maggiore preferenza dei pedoni per la scelta di attività commerciali situate più vicine alle loro aree residenziali.