

Indicatore 1.1 – Tipologia dell'insediamento

Descrizione sintetica

L'indicatore descrive il grado di compattezza o frammentarietà degli insediamenti collegato alla *car dependency* o viceversa alla propensione alla mobilità attiva. Solitamente, forme urbane compatte riducono le distanze, incoraggiano la mobilità a piedi e in bicicletta, e facilitano l'organizzazione di servizi di trasporto pubblico efficaci, mentre le forme urbane diffuse aumentano la dipendenza dall'auto privata, con conseguenti maggiori costi energetici, ambientali e di congestione. Le città policentriche possono invece ottimizzare il trasporto pubblico integrato ma richiedono una buona pianificazione infrastrutturale per mantenere l'accessibilità tra i vari centri.

Per il calcolo dell'indicatore si è fatto riferimento a un approccio metodologico ispirato alle pratiche adottate da ISPRA per la classificazione degli insediamenti urbani e l'analisi del consumo di suolo, rielaborato per operare sulla griglia di 100 metri per lato (v. paragrafo 4.7.1.1). Le 4 tipologie di tessuto urbano individuate con tale metodologia, e il loro plausibile impatto sulle diverse forme di mobilità, sono di seguito riportate:

- Città monocentrica compatta: presenta un nucleo urbano denso, continuo e poco frammentato; questo tipo di tessuto favorisce la mobilità attiva (camminare e andare in bici) grazie alla vicinanza tra residenza, lavoro e servizi, riducendo la necessità di usare l'auto.
- Città monocentrica dispersa: mantiene un nucleo centrale predominante ma mostra maggior dispersione e frammentazione del tessuto urbano. Questo modello tende a una mobilità più mista, con una crescente dipendenza dal mezzo privato rispetto al tipo compatto.
- Città diffusa: caratterizzata da tessuto sparso e molto frammentato, con bassa densità abitativa ed alto consumo di suolo. Qui prevale l'uso dell'auto privata, poiché la bassa densità e la frammentazione rendono difficoltoso l'uso di trasporto pubblico e la mobilità attiva.
- Città policentrica: presenta più nuclei urbani rilevanti collegati, struttura che favorisce sistemi di trasporto pubblico radiali e interni ai vari centri, aumentando l'efficacia di bus, metro e treni per collegare i poli urbani.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

Per costruire l'indicatore, si selezionano le celle della griglia di analisi appartenenti alle località urbane definite dall'ISTAT con un indice di impermeabilizzazione (Imperviousness Index) superiore al 30%, in modo tale da ottenere le superfici urbanizzate.

Rispetto al modello ISPRA (v. BOX 8), che si occupa di misurare il consumo di suolo, sono stati introdotti alcuni correttivi, al fine di restituire una rappresentazione degli insediamenti più adeguata agli obiettivi perseguiti da UV2030-50. In particolare, sono state escluse le singole celle o loro aggregazioni di dimensioni inferiori a 4 ha, superficie considerata come la soglia minima per definire un aggregato urbano significativo.¹

Di seguito una descrizione sintetica dei sotto indicatori utilizzati per la definizione della tipologia di insediamento, rimandando alla metodologia ISPRA per maggiori approfondimenti (V. BOX 8).

- LCPI (Largest Class Patch Index): misura la percentuale di superficie occupata dalla più grande area continua di suolo consumato o urbanizzato, indicatore di compattezza dell'insediamento.
- RMPS (Residual Mean Patch Size): rappresenta la dimensione media delle aree urbanizzate residue escluse le più grandi, utile a descrivere la diffusione o la policentricità del tessuto urbano.
- ED (Edge Density): indica la densità dei bordi o margini tra suolo urbanizzato e non urbanizzato per unità di superficie, esprimendo il grado di frammentazione o dispersione dell'urbanizzato.

Per la definizione del poligono principale di estensione urbana, la cui superficie complessiva rispetto ad altri eventuali poligoni è utilizzata per la definizione dei sotto indicatori, è stato applicato un buffer di 100 metri

¹ La fonte principale di questa definizione è il Piano Integrato Territoriale (PIT) della Toscana, in particolare nelle sue indicazioni metodologiche della terza invariante, relativa ai morfotipi insediativi, che stabilisce che un aggregato urbano è riconosciuto a partire da una superficie minima di 4 ettari. Tale criterio è adottato per riferire il concetto di "territorio urbanizzato" e orientare gli interventi di pianificazione verso una gestione più compatta e sostenibile del territorio. Questa soglia riflette una prassi consolidata anche in altre normative urbanistiche regionali e nazionali, pur con valori soglia che possono variare. L'approccio mira a evitare la dispersione e la frammentazione del tessuto urbano, lavorando invece su aggregati di dimensioni significative per ridurre il consumo di suolo e promuovere la qualità dell'abitare

includendo eventuali poligoni adiacenti, per evitare che interruzioni puntuali delle superfici impermeabili siano interpretate come discontinuità dell'area urbanizzata. Per la stessa ragione sono state eliminate le singole celle vuote corrispondenti a spazi residuali all'interno dei poligoni individuati.

Le soglie riprese da ISPRA per identificare le quattro tipologie di insediamento sono le seguenti:

LCPI >70% e ED <250 m/ha : città monocentrica compatta

LCPI >70% e ED >250 m/ha : città monocentrica dispersa

LCPI <70% e RMPS >9 ha: città policentrica

LCPI <70% e RMPS <9 ha: città diffusa

Modalità di calcolo

Di seguito sono riportate gli indicatori utilizzati e le relative formule che ricalcano il modello ISPRA (V. BOX 8).

LCPI (Largest Class Patch Index)

Misura la percentuale della superficie totale costruita attribuibile al poligono urbano più esteso.

$$LCPI = \left(\frac{A_{max}}{A_{tot}} \right) \times 100$$

A_{max} : superficie del poligono urbano più esteso

A_{tot} : superficie totale dell'area costruita

RMPS (Residual Mean Patch Size)

Dimensione media dei poligoni residui costruiti escluso il poligono più grande (frammentazione urbana secondaria).

$$RMPS = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} A_i}{N - 1}$$

A_i : superficie del singolo poligono costruito residuo (escluso il massimo)

N : numero totale di poligoni costruiti

ED (Edge Density)

Rapporto tra il perimetro complessivo delle aree urbanizzate e la loro superficie totale, espresso in metri per ettaro.

$$ED = \frac{P_{tot}}{A_{tot}/10000}$$

P_{tot} : perimetro totale (m) delle aree urbanizzate

A_{tot} : superficie totale (m²) delle aree urbanizzate

Fonti dei dati

Dataset Copernicus

<https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-imperviousness/imperviousness-density-2018/>

Basi territoriali e variabili censuarie

<https://www.istat.it/notizia/basi-territoriali-e-variabili-censuarie/>

Indicatore 1.2 - Densità delle aree urbanizzate (AU)

Descrizione sintetica

L'indicatore quantifica la percentuale di popolazione che risiede nelle zone AUDc, AUDd e ASU rispetto al totale della popolazione residente nelle AU (V. classificazione delle aree urbanizzate nel paragrafo 4.7.1.2), fornendo così un parametro efficace per valutare la distribuzione e la concentrazione abitativa del contesto locale di analisi. Se la maggioranza della popolazione risiede all'interno dell'AUDc, verosimilmente siamo di fronte ad un insediamento che, almeno dal punto di vista della densità abitativa, risulta essere piuttosto compatto. Viceversa, se l'indicatore tende ad una maggior concentrazione della popolazione nelle ASU, siamo di fronte ad insediamenti tipici delle urbanizzazioni diffuse. Valori centrali tra questi due estremi, con un relativo peso delle AUDd, possono connotare insediamenti di tipo policentrico.

Tali caratteristiche incidono direttamente sulle propensioni dell'insediamento, premiando mobilità attiva e trasporto pubblico negli insediamenti con maggior concentrazione di popolazione nell'AUD, mentre per le estensioni territoriali urbanizzate con medio-bassa densità abitativa ci sarà più orientamento verso forme di DRT (Demand Responsive Transport) e di mobilità individuale motorizzata "sostenibile" (MMS).

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

L'indicatore sulla densità delle aree urbanizzate incide in modo diverso sulle propensioni dell'insediamento, in particolare rispetto al gruppo della mobilità attiva e del trasporto pubblico (TPL- A, B e C), che considerano la % di popolazione dell'area urbana densa (AUD), le propensioni verso il DRT e verso la mobilità individuale motorizzata adottano invece parametri dove il peso prevalente è dato dalla percentuale di popolazione che vive nell'area suburbana (ASU). Inoltre, i criteri per la definizione dell'indicatore variano anche sulla base della tipologia di insediamento derivata dall'indicatore "1.1 – Tipologia insediamento", così come riportato nella seguente tabella:

TABELLA 1 | Criteri di valutazione della propensione ai diversi modi di trasporto in base alla configurazione insediativa

Tipologia di insediamento	Mobilità attiva TPL-A, B, C	DRT - Demand Responsive Transport	MMS - Mobilità individuale motorizzata sostenibile
Monocentrico compatto	% popolazione AUDc su totale popolazione AU	% popolazione ASU + AUDd su totale popolazione AU	% popolazione ASU su totale popolazione AU
Monocentrico disperso			
Policentrico	% popolazione AUDc + AUDd su popolazione AU	% popolazione ASU su totale popolazione AU	
Diffuso			

Modalità di calcolo

Calcolo densità delle aree urbanizzate per la propensione alla mobilità attiva ed al TPL di tipo A, B e C:

$$monocentrico = \frac{POP_{AUDc,L}}{POP_{AU,L}}$$

$$policentrico \text{ e } diffuso = \frac{POP_{AUDc,L} + POP_{AUDd,L}}{POP_{AU,L}}$$

Calcolo densità delle aree urbanizzate per la propensione DRT:

$$monocentrico = \frac{POP_{ASU,L} + POP_{AUDd,L}}{POP_{AU,L}}$$

$$\text{policentrico e diffuso} = \frac{POP_{ASU}}{POP_{AU_L}}$$

Calcolo densità delle aree urbanizzate per la propensione ICM:

$$\text{monocentrico, policentrico e diffuso} = \frac{POP_{ASU_L}}{POP_{AU_L}}$$

dove:

POP_{AUDc_L}: popolazione residente totale delle appartenenti all'area urbana densa centrale locale

POP_{AUDd_L}: popolazione residente totale delle appartenenti alla area urbana densa decentrata locale

POP_{ASU_L}: popolazione residente totale delle appartenenti all' area suburbana locale

POP_{AU_L}: popolazione residente totale delle appartenenti all' area urbanizzata locale

Fonti dei dati

Dataset Copernicus

<https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-imperviousness/imperviousness-density-2018/>

Basi territoriali e variabili censuarie

<https://www.istat.it/notizia/basi-territoriali-e-variabili-censuarie/>

Indicatore 1.3 - Estensione dell'area urbana

Descrizione sintetica

L'indicatore esprime la percentuale di celle AUD in relazione al totale delle celle urbanizzate AU. L'estensione spaziale dell'insediamento viene definita considerando la distribuzione di superficie in ettari (ovvero in numero di celle dato che ogni cella vale 1ha) delle AUD e delle ASU all'interno di specifici raggi urbani, stigmatizzati in diversi valori (rispettivamente 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, e 15 km), calcolati a partire dal centroide dell'AUDc. Per le propensioni al DRT e ICM, l'indicatore esprime rispettivamente la percentuale di celle ASU al totale delle celle urbanizzate AU.

I raggi urbani sono stati definiti sulla base di considerazioni fatte in relazione alla distanza temporale di 30 minuti, per cui, a seconda della forma di trasporto utilizzata, varia la distanza che in tale unità temporale viene percorsa (v. Paragrafo 5.4.2.4 e riferimento teorico al Travel Time Budget e Costante Marchetti – BOX 7). Ad esempio, a piedi si possono percorrere in ambiente urbano mediamente 2,5 km, mentre in bicicletta si può arrivare a 7,5 km. Per quanto riguarda il TPL, sulla base delle velocità medie di servizio, estensioni insediative fino a 10 Km di raggio possono essere coperte, in 30 minuti, da sistemi TPL-C (bus, filobus, tram su strada), fino a 12,5 Km da sistemi TPL B (metrotramvie, BRT) ed oltre 15K m, preferibilmente, da sistemi TPL-A (metro, treni suburbani, sistemi automatizzati).

Per la definizione delle celle AU da considerare rispetto ai raggi urbani definiti, è stata tenuta in considerazione la relazione dell'ambito locale con quello funzionale di appartenenza laddove presente. Nei casi in cui sia presente un ambito di analisi interno ad una FUA, sono state considerate le celle AUD- F e ASU-F (rif classificazione aree urbanizzate) in modo tale da inglobare la dimensione funzionale/metropolitana per determinare alcune tipologie di propensioni dell'insediamento.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

Per il gruppo di propensioni della mobilità attiva e per il TPL di tipo C, vengono considerate le sole celle appartenenti all'ambito o ambiti locali (LAU) oggetto di analisi, mentre le propensioni al TPL di tipo A e B e le forme di DRT e MMS considerano anche le celle appartenenti ad un eventuale ambito funzionale (FUA). Questo ci consente valutare un sistema insediativo anche in base ad un più ampio contesto territoriale di riferimento. Nel caso di aree metropolitane, tale considerazione assume ancora più rilevanza.

Per le tipologie insediative policentriche e diffuse, si considera nell'analisi della mobilità attiva e del TPL C l'estensione data dalla AUD complessiva, mentre per la tipologia compatta viene considerata la sola AUDc.

TABELLA 2 | Criteri di valutazione della propensione ai diversi modi di trasporto in base alla percentuale di popolazione entro i raggi urbani pertinenti e della configurazione insediativa

Tipologia di insediamento	Mobilità attiva e TPL-C	TPL -A, TPL- B	DRT	MMS
<i>Monocentrico compatto</i>	%area AUDc_ L raggi urbani	%area AUD_ L + AUD_ F ricadente nei raggi urbani	%area ASU_ L + ASU_ F ricadente nei raggi urbani	%area AU_ L + AU_ F ricadente nei raggi urbani
<i>Monocentrico disperso</i>				
<i>Policentrico</i>	%area AUD_ L raggi urbani			
<i>Diffuso</i>				

L'incidenza dell'estensione territoriale sulle diverse propensioni è stata ponderata in base alle distanze che effettivamente potrebbero esprimere la necessità di quel modo di trasporto, ovvero ai raggi urbani ottimali ad ogni propensione desunti a partire all'ordine di grandezza di 30 minuti massimo per ogni spostamento, sulla base della velocità di percorrenza (vedi *Travel time budget hypothesis*, BOX 7).

TABELLA 3 | Corrispondenza tra velocità caratteristiche e distanze coperte in 30 minuti dai diversi modi di trasporto

raggio urbano (km)						
0	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500	15.000
corrispondenza velocità in 30 minuti (km/h)						
0	5	10	15	20	25	30
Walk						
Bike						
Micromobility						
TPL-C						
				TPL-B		
					TPL-A	

La tabella seguente invece riporta i coefficienti utilizzati per pesare le propensioni ai vari modi di trasporto rispetto al raggio urbano ottimale, coerente con l'approccio (A-S-I); nello specifico, si è assegnato ad ogni fascia chilometrica un coefficiente di propensione: 1 per indicare piena corrispondenza tra la distanza da coprire e le prestazioni di un modo sostenibile, 0,5 in caso di corrispondenza parziale.

TABELLA 4 | Indici di corrispondenza tra fasce chilometriche degli spostamenti urbani e modi di trasporto sostenibili

Azioni di mobilità sostenibile	Fasce di distanza (= "raggi urbani") (km)					
	0-2,5	2,5-5	5-7,5	7,5-10	10-12,5	> 12,5
Walkability	1	0,5	-	-	-	-
Bikeability	1	1	0,5	-	-	-
Micromobility	1	1	1	0,5	-	-
TPL-C	1	1	1	0,5	-	-
TPL-B	-	1	1	1	0,5	-
TPL-A	-	-	0,5	0,5	1	1
DRT	-	0,5	1	1	0,5	-
MMS -Auto	-	0,5	1	1	0,5	-
MMS-Moto	0,5	1	1	1	0,5	-

Modalità di calcolo

Calcolo densità delle aree urbanizzate per la propensione alla mobilità attiva ed al TPL di tipo A, B e C: *

$$\text{estensione} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i * w_i)}{AUD_{tot}}$$

Calcolo densità delle aree urbanizzate per la propensione DRT:

$$\text{estensione} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i * w_i)}{ASU_{tot}}$$

Calcolo densità delle aree urbanizzate per la propensione ICM:

$$\text{estensione} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i * w_i)}{AU_{tot}}$$

Dove

Indicatori e parametri

R_i : è il numero di celle che ricadono nel raggio urbano definito (i)

W_i : è il peso attribuito a ciascun raggio urbano in relazione alla propensione

AUD_{tot}: numero celle (ha) ricadenti nell'area urbana densa (locale e funzionale in base alla propensione)

ASU_{tot}: numero celle (ha) ricadenti nell'area suburbana (locale e funzionale in base alla propensione)

AU_{tot}: numero celle (ha) ricadenti nell'area urbanizzata (locale e funzionale in base alla propensione)

*Per le tipologie insediative policentriche e diffuse, si considera nell'analisi AUDc + AUDd, mentre per la tipologia compatta la sola AUDc

Fonti dei dati

Griglia di analisi

Classificazione delle aree urbanizzate

Indicatore 1.4 - Acclività del grafo stradale

Descrizione sintetica

L'indicatore misura la pendenza della rete stradale, distinguendo tra le diverse categorie di rete stradale: rete principale, rete secondaria e rete locale (v. "Classificazione della rete stradale" nel paragrafo 5.7.1.2). Per ciascuna di queste categorie, si valuta la percentuale di tratti stradali che rientrano in determinate fasce di pendenza, suddivise in classi di valori crescenti e ponderate sulla base di riflessioni condotte sulle diverse propensioni dell'insediamento. La percentuale complessiva della rete stradale appartenente a ciascuna classe di pendenza viene calcolata in rapporto all'intera estensione delle reti urbane e suburbane considerate. Questo permette di quantificare la porzione di rete che risulta adatta o meno alle diverse forme di mobilità dato che possono essere più o meno influenzate dalla pendenza del terreno.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

I valori sono calcolati sulla AUD per il gruppo della mobilità attiva e su AU per TPL B. Le forme di TPL C e A, il DRT e l'ICM non sono particolarmente influenzati dalla pendenza della rete stradale, quindi di fatto non vengono considerate. La tabella di seguito riporta i criteri per le propensioni considerate, distinte per la tipologia di insediamento del caso di analisi:

TABELLA 5 | Criteri di valutazione della propensione ai diversi modi di trasporto in base all'acclività della rete stradale

Tipologia di insediamento	Walkability	Bikeability e Micromobilità	TPL B
Monocentrico compatto	% strade locali e secondarie AUD	% strade locali e secondarie AUD	% strade principali e secondarie AU
Monocentrico disperso			
Policentrico			
Diffuso		% strade locali e secondarie AU	

La seguente tabella invece riporta i pesi utilizzati per le propensioni influenzate dalla pendenza orografica; nel nostro caso i valori percentuali di pendenza sono state riclassificati in 6 classi (0-2%, 2-4%, 4-6%, 6-8%, 8-10%, 10-15%):

TABELLA 6 | Coefficienti propensioni mobilità per soglie di pendenza% rete stradale

Azione di mobilità sostenibile	da 0 a 2%	da 2 a 4%	da 4 a 6%	da 6 a 8%	da 8 a 10%	da 10 a 15%	> 15%
Walkability	1	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Bikeability	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0	0
Micromobility	1	1	1	0,75	0,75	0,5	0
TPL - C	1	1	1	1	1	1	0
TPL - B	1	1	1	0,5	0	0	0
TPL - A	1	1	1	1	1	1	0
DRT - ASU	1	1	1	1	1	1	0
MMS - AU	1	1	1	1	1	1	0

Modalità di calcolo

Il primo step consiste nell'attribuire ad ogni arco del grafo stradale un valore di pendenza %. Nel nostro caso è stato utilizzato lo strumento Road Slope Calculator in QGIS, specificamente progettato per calcolare la pendenza longitudinale di percorsi lineari come strade, sentieri o vie, utilizzando input da un layer vettoriale lineare 2D e un modello digitale del terreno (DEM). È stato utilizzato un DEM con risoluzione 10 metri per calcolare la variazione altimetrica lungo i segmenti stradali: per ogni segmento della rete stradale, calcola la pendenza percentuale come rapporto fra la variazione altimetrica e la lunghezza del segmento stesso (con DEM a 10m è stata impostata lunghezza massima segmento a 50 metri). Restituisce come output un layer vettoriale con l'attributo pendenza associato a ogni tratto stradale. Attraverso analisi statistiche per categoria, si sono ricavati le lunghezze complessive (in AUD e AU) delle reti stradali suddivise per le soglie di pendenze definite.

Calcolo della acclività del grafo stradale:

$$acclività = \frac{\sum_{i=1}^n ((P_i + S_i + L_i) * w_i)}{R_{tot}}$$

dove

P_i: totale lunghezza rete delle strade principali per soglia di pendenza (i) *

S_i: totale lunghezza rete delle strade secondarie per soglia di pendenza (i) *

L_i: totale lunghezza rete delle strade locali per soglia di pendenza (i) *

w_i: peso associato alla soglia di pendenza (i)

R_{tot}: totale km rete stradale oggetto di analisi **

* su rete stradale complessiva in base alla propensione. Vengono considerate le lunghezze totali della rete in AUD o in AU a seconda della propensione e della tipologia di insediamento

**corrisponde al totale della rete in AUD o in AU a seconda della propensione e della tipologia di insediamento

Fonti dei dati

Dato IGNV - DEM 10 metri con copertura nazionale

https://tinality.pi.ingv.it/Download_Area1_1.html

Grafo stradale OSM

<https://www.openstreetmap.org/>

Indicatore 1.5 - Grado di appartenenza ad area metropolitana/funzionale

Descrizione sintetica

L'indicatore rappresenta la percentuale di AUD-L in relazione alla sua area urbana metropolitana/funzionale di appartenenza AU (FUA), ove presente, ed ha lo scopo di ponderare alcune misure di restrizione della circolazione, in particolare quelle più adatte ai vari contesti metropolitani. Ad esempio, bassi valori indicano una quota marginale dell'area urbana densa metropolitana/funzionale, ovvero situazioni come ad esempio le conurbazioni di piccoli comuni periferici, mentre alti valori indicano realtà urbane centrali o comunque predominanti su vasta scala, e maggiormente attrattivi rispetto agli altri.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

L'indicatore considera il numero di celle definite AUD-L rispetto a quelle definite AUD-F, ovvero l'estensione in ettari delle aree a maggior densità abitativa dell'ambito locale (LAU) in rapporto a quelle dell'ambito funzionale (FUA).

Modalità di calcolo

Calcolo grado di appartenenza ad area metropolitana/funzionale

$$\text{grado appartenenza FUA} = \frac{AUD_L}{AUD_F}$$

AUD_L : n° celle (ettari) dell'area urbana densa locale

AUD_F: n° celle (ettari) dell'area urbana densa funzionale

Fonti dei dati

Rif. Griglia di analisi e classificazione delle aree urbanizzate

Caratteristiche dei tessuti urbani e della rete viaria urbana

Al fine di valutare le propensioni strutturali di un insediamento alle azioni di mobilità sostenibile precedentemente descritte, quale presupposto a politiche place-based finalizzate a raggiungere gli obiettivi europei al 2050, sono stati individuati i seguenti indicatori relativi alla scala urbana e locale.

Indicatore 2.1 – Tipologia dei tessuti urbani

Descrizione sintetica

L'indicatore quantifica la percentuale di superficie occupata da ciascuna tipologia di tessuto urbano (*Walking, Transit ed Automobile urban fabrics* - v. "Classificazione dei tessuti urbani" nel paragrafo 5.7.1.2 e riferimento teorico a Newman et al.,2016 – BOX 7) rispetto all'intera area urbanizzata, ognuno dei quali può più o meno influenzare le propensioni dell'insediamento alle varie forme di mobilità. Sulla base delle considerazioni fatte, è plausibile che alti valori del tessuto *walking city* indichino un'elevata propensione dell'insediamento alla mobilità attiva, per contro alti valori di *automobile city* indicano una città più rarefatta in termini residenziali o tessuti prevalentemente specializzati con aree produttive o servizi e infrastrutture, ovvero più orientata all'utilizzo dell'auto privata. La classificazione dei tessuti urbani si basa sull'analisi di diverse caratteristiche come la densità di abitanti per ettaro, il rapporto di copertura del suolo e la presenza di centri storici o aree centrali.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

Il primo passaggio è quello di convertire in valori % l'estensione totale (in ha) delle celle classificate come *walking city, transit city, automobile city* in AUD ed *automobile city* in ASU. Sulla base di questa ripartizione, le 4 grandezze % ottenute vengono pesate per ogni propensione come riportato nella seguente tabella:

TABELLA 7 | Coefficienti propensione tessuto alle forme di mobilità

Azioni di mobilità sostenibile	Walking city	Transit City	Automobile city AUD	Automobile city ASU
<i>Walkability</i>	1	0,5	0,25	0
<i>Bikeability</i>	0,75	1	0,5	0
<i>Micromobility</i>	0,5	1	0,75	0
<i>TPL - C</i>	0,5	1	0,75	0
<i>TPL - B</i>	0,5	1	1	0
<i>TPL - A</i>	1	1	1	0
<i>DRT - ASU</i>	0	0,5	1	1
<i>MMS - AU</i>	0	0,5	1	1
<i>ZONE 30</i>	1	1	1	0

Modalità di calcolo

L'indicatore esprime la somma pesata delle grandezze % per ogni propensione. Di seguito si riporta la formula utilizzata per definire la propensione dell'insediamento in base alla tipologia dei tessuti urbani:

$$propensione\ tessuto = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i w_i}{\sum_{i=1}^4 w_i}$$

Indicatori e parametri

Dove:

x_i : sono i valori % di Walking City, Transit City, Automobile AUD e Automobile ASU

w_i : sono i pesi corrispondenti ai valori determinati per ogni propensione

Fonti dei dati

Rif. Griglia di analisi, classificazione delle aree urbanizzate e classificazione dei tessuti urbani

Indicatore 2.2 – Tipologia della rete stradale

Descrizione sintetica

L'indicatore descrive la composizione e la distribuzione della rete stradale, suddivisa in rete principale, secondaria e locale (V. Classificazione della rete stradale - 4.7.1.2), in relazione alle tre tipologie di tessuto urbano definite come *walking city*, *transit city* e *automobile city* (V. Classificazione dei tessuti urbani – paragrafo 4.7.1.2).

In particolare, si calcola la percentuale della lunghezza delle strade principali, secondarie e locali che attraversano ciascuno di questi tessuti urbani. Questo consente di comprendere come la rete viaria si articola e serve le diverse aree urbane in funzione della loro densità abitativa e della loro morfologia.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

Il primo passaggio è quello di attribuire alla griglia, sulla quale sono codificati in appositi campi i tessuti urbani per ogni cella, le lunghezze totali delle tre categorie di rete stradale considerate, ovvero quella principale, secondaria e locale. Successivamente, si ricavano tutti i valori complessivi delle categorie di rete stradale per ogni tipologia di tessuto urbano attraverso le statistiche di campo per categoria.

Il secondo passaggio consiste invece nel convertire in valori % la lunghezza totale (in km) della rete principale, secondaria e locale riclassificata sulla base del tessuto di appartenenza. Infine, vengono definite le tipologie di rete stradale più adatte a favorire una determinata propensione, come riportato nella seguente tabella:

TABELLA 8 | Propensione delle tipologie stradali CNR alle azioni di mobilità sostenibile, in base ai tipi di tessuto

Azioni di mobilità sostenibile	Locali AUD	Principali Walking city	Secondarie Walking city	Principali Transit city	Secondarie Transit city	Principali Automobile city AUD	Secondarie Automobile city AUD	Locali ASU	Principali Automobile city ASU	Secondarie Automobile city ASU
<i>Walkability</i>	1		1							
<i>Bikeability</i>	1	1	1				1	1		1
<i>Micromobility</i>	1	1	1	1	1		1	1		1
<i>TPL - C</i>	1	1	1	1	1		1			
<i>TPL - B</i>		1	1	1	1	1	1			
<i>TPL - A</i>										
<i>DRT - ASU</i>		1	1	1	1	1	1		1	
<i>MMS- AU</i>		1	1	1	1	1	1		1	
<i>ZONE 30</i>	1									

Modalità di calcolo

L'indicatore esprime la somma delle grandezze % per ogni propensione. Di seguito si riporta la formula utilizzata per definire la propensione dell'insediamento in base alla tipologia di rete stradale:

$$\text{tipologia rete stradale} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i w_i}{\sum_{i=1}^{10} w_i}$$

Dove:

x_i : sono i valori % delle strade locali (vedi tabella sopra)

w_i : sono i pesi corrispondenti ai valori determinati per ogni propensione

Fonti dei dati

Griglia di analisi

Classificazione della rete stradale:

Dato Open Street Map (Hightway)

<https://www.openstreetmap.org>

Indicatore 2.3 – Configurazione della rete stradale²

Descrizione sintetica

Le caratteristiche geometriche della rete stradale sono state studiate attraverso l'applicazione dell'analisi Space Syntax, una metodologia che permette di valutare la configurazione spaziale delle strade e la loro capacità di integrare i flussi di mobilità urbana (v. BOX 9). In particolare, si è utilizzato l'indicatore INTEGRATION, che misura il grado di integrazione topologica delle vie, cioè quanto ogni segmento della rete è facilmente raggiungibile o connesso rispetto al resto del sistema.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

L'analisi è stata effettuata tramite il *plugin* "Space Syntax Toolkit" per QGIS, che richiede come dati di *input* un insieme di geometrie — nello specifico un grafo della rete viaria — e la definizione di un raggio di calcolo. Il grafo è stato ricavato da *OpenStreetMap* che, sebbene possa presentare alcune imprecisioni e limiti in termini di affidabilità, costituisce attualmente il *database* gratuito più completo disponibile e, grazie alla sua ampia diffusione e al continuo aggiornamento, rappresenta una delle fonti maggiormente impiegate nelle simulazioni in ambito trasportistico. Il raggio di calcolo rappresenta un parametro cruciale nell'elaborazione degli indici configurazionali: nell'ambito della sintassi spaziale, infatti, la sua definizione influenza direttamente la capacità degli indici di descrivere differenti scale della mobilità. Per l'individuazione dei raggi di riferimento è stata svolta una revisione della letteratura urbanistica e dei trasporti, finalizzata a individuare relazioni ricorrenti tra modalità di spostamento e rispettivi ambiti di azione. Da tale analisi è derivata una classificazione che mette in relazione specifiche soglie di distanza con determinate forme di mobilità sostenibile:

- A raggio di 2,5 km, l'indicatore serve ad analizzare la mobilità attiva, focalizzandosi su aspetti di camminabilità (walkability) e ciclabilità (bikeability).
- A raggio di 5 km, oltre alla mobilità attiva si considerano anche modalità di micromobilità e il trasporto pubblico locale di tipo C.
- A raggio di 7,5 km, l'analisi si concentra sul trasporto pubblico di tipo C e B.
- A raggio di 10 km, viene valutata la mobilità privata e il trasporto pubblico di tipo B.

È opportuno evidenziare che, per ciascun grafo di partenza, è stata effettuata preliminarmente un'operazione di filtraggio volta a escludere i tratti viari non liberamente accessibili agli utenti associati a ciascuna modalità di trasporto. In particolare, per i raggi di analisi più ridotti sono stati eliminati dal grafo i segmenti non accessibili a pedoni e ad altri utenti della strada, ossia quelli classificati come viabilità privata o come infrastrutture a carreggiate separate con accesso limitato. Per i raggi di maggiore ampiezza, invece, sono stati esclusi non solo i tratti di viabilità privata, ma anche quelli destinati esclusivamente all'uso pedonale e quelli non accessibili dal trasporto pubblico su gomma.

Si precisa, inoltre, che ciascuna elaborazione è stata condotta su un campione di grafo più ampio rispetto ai limiti amministrativi di riferimento, con il centro nel centroide del comune considerato e con un'estensione pari a un quadrato di lato 20 km, al fine di assicurare una maggiore robustezza dei risultati riducendo il più possibile il cosiddetto "effetto bordo". Quest'ultimo consiste nella sottostima degli indici configurazionali nei nodi collocati in prossimità dei limiti del grafo, dovuta all'esclusione dal calcolo delle connessioni esterne all'area di analisi.

Modalità di calcolo

È stato calcolato l'indice di integrazione, utilizzando come raggi tutte le soglie indicate in precedenza. La formula utilizzata dal componente aggiuntivo è:

² Le analisi relative al presente indicatore sono state condotte operativamente da Lorenzo Di Marco, che ne ha presentato i risultati in occasione della XXVII Conferenza Nazionale SIU (giugno 2025); tali risultati sono inoltre confluiti nel contributo in corso di pubblicazione "La geometria del movimento. Il contributo della sintassi spaziale alla pianificazione della mobilità sostenibile".

$$INT_i = \frac{1}{MD_i}$$

Dove:

INT_i = Indice di integrazione del segmento i

MD_i = Profondità media del segmento i

A sua volta, la profondità media MD_i si calcola mediante la seguente formula:

$$MD_i = \frac{\sum d(i,j)}{N - 1}$$

Dove:

$d(i,j)$ = distanza topologica (in numero di passaggi o di angoli) tra il segmento i e il segmento j ;

N = numero totale di segmenti nel grafo (o all'interno del raggio scelto).

A questo punto, il calcolo restituisce, per ciascun segmento del grafo, un valore numerico di integrazione, accompagnato da una rappresentazione cartografica in forma di heatmap, in cui la scala cromatica varia dal blu (valori di integrazione più bassi) al rosso (valori più elevati). Tale visualizzazione facilita l'interpretazione dei risultati, consentendo di individuare con immediatezza le aree maggiormente integrate nel sistema e quelle caratterizzate da una maggiore segregazione.

A questo punto, il calcolo restituisce, per ciascun segmento del grafo, un valore numerico di integrazione, accompagnato da una rappresentazione cartografica in forma di heatmap, in cui la scala cromatica varia dal blu (valori di integrazione più bassi) al rosso (valori più elevati). Tale visualizzazione facilita l'interpretazione dei risultati, consentendo di individuare con immediatezza le aree maggiormente integrate nel sistema e quelle caratterizzate da una maggiore segregazione.

Per garantire una corretta interpretazione e confrontabilità, i valori dell'indicatore così ottenuti, sono stati normalizzati rispetto al valore massimo rilevato in ogni specifico caso di studio, e classificati in tre classi di integrazione: alta (con valori fra 0,55 e 1), media (0,31–0,54) e bassa (0–0,30). Queste classi rappresentano rispettivamente livelli elevati, intermedi o ridotti di accessibilità e connettività della rete stradale.

Fonti dei dati

Space Syntax Toolkit (<https://www.spacesyntax.online/software-and-manuals/space-syntax-toolkit-2/>)

OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/export>)

Indicatore 2.4 – Rilevanza dei tessuti storici

Descrizione sintetica

L'indicatore rappresenta la percentuale di tessuti urbani storicizzati in relazione all'area urbana densa locale complessiva ed ha lo scopo di ponderare le misure di restrizione della circolazione sui tessuti urbani più storicizzati (misure push).

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

L'indicatore considera il numero di celle definite come centro storico (CS), ovvero l'estensione in ettari, rispetto a quelle definite AUD-L.

Modalità di calcolo

Calcolo della rilevanza dei tessuti storici:

$$grilevanza\ dei\ tessuti\ storici = \frac{CS}{AUD_L}$$

CS : n° celle (ettari) dell'area urbana classificata come "centro storico/area centrale"

AUD_L: n° celle (ettari) dell'area urbana densa locale

Fonti dei dati

Rif. Griglia di analisi

Osservatorio Mercato Immobiliare (Centri storici e zone di centralità urbana)

https://www1.agenziaentrate.gov.it/servizi/geopoi_omi/index.php

Indicatore 2.5 – Rilevanza della rete stradale locale

Descrizione sintetica

L'indicatore rappresenta la percentuale di strade locali ricadenti nella AUD rispetto alla lunghezza totale del grafo complessivo di tutta l'area urbanizzata AU ed ha lo scopo di ponderare le misure di restrizione della circolazione a servizio degli isolati urbani di medio/alta densità abitativa, come le zone 30.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

L'indicatore considera la lunghezza totale della rete di strade locali AUD in rapporto alla lunghezza del grafo complessivo dell'area urbanizzata AU.

Modalità di calcolo

Calcolo della rilevanza della rete stradale locale:

$$\text{rilevanza rete stradale locale} = \frac{\text{rete strade locali AUD}}{\text{rete stradale totale AU}}$$

rete strade locali AUD : km totali della rete di strade locali ricadenti nell'area urbana densa

rete stradale totale AU: km totali della rete di strade complessiva dell'area urbanizzata

Fonti dei dati

Rif. Griglia di analisi

Rif. Classificazione della rete stradale

Organizzazione funzionale

Al fine di valutare le propensioni funzionali di un insediamento alle azioni di mobilità sostenibile precedentemente descritte, quale presupposto a politiche place-based finalizzate a raggiungere gli obiettivi europei al 2050, sono stati individuati i seguenti indicatori relativi alla scala urbana e locale.

Indicatore 3.1 - Indice di prossimità urbana

Descrizione sintetica

L'indicatore misura quanto un territorio sia facilmente accessibile a piedi entro circa 15 minuti dai servizi fondamentali per la vita quotidiana, quali scuola, salute, commercio, spazi verdi ed altri servizi di pubblica utilità. Esso fa riferimento al concetto di 15-Minute City (v. paragrafo 3.2.1.2 e successivo BOX 10): una città dove i servizi di prossimità sono distribuiti in modo equilibrato su tutto il territorio urbano, in modo tale da ridurre le disuguaglianze di accesso tra centro e periferia. Con riferimento al framework A-S-I, si tratta dell'implementazione sistematica del criterio Avoid, perseguita attraverso l'integrazione fra pianificazione urbana, politiche sociali e riorganizzazione della mobilità.

L'indicatore, basato sul rapporto di copertura, misura il numero di celle, ovvero l'estensione in ettari, delle aree urbanizzate (AU) collocate a distanze di rete più o meno corrispondenti a uno spostamento di 15 minuti a piedi da tutte le tipologie di servizi considerati, e risulta rilevante per la valutazione della mixité urbanistica in riferimento alla sua incidenza sulla mobilità attiva.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

La valutazione viene effettuata usando la griglia regolare di celle di 100 per 100 metri. Per ogni cella della griglia, si verifica la presenza e la raggiungibilità di sette categorie di servizi, fondamentali per un buon livello di prossimità e qualità della vita:

Istruzione (scuole dell'infanzia, primarie e secondarie di primo grado)

- Sanità (farmacie e ambulatori)
- Spazi aperti pubblici (parchi urbani, piazze)
- Attività sportive (centri sportivi e campi da gioco di dimensioni superiori a 2000 mq)
- Attività socio-culturali (biblioteche, cinema, centri culturali e sociali)
- Servizi commerciali (supermercati, negozi di alimentari, panifici e bar)

Altri servizi (banche e uffici postali).

I dati sui servizi provengono da fonti Open Street Map e banche dati nazionali, garantendo una copertura capillare e aggiornata.

L'indicatore attribuisce a ciascuna cella un valore da 0 a 7 in base al numero di queste categorie di servizio raggiungibili entro 800 metri dalla cella stessa:

- Valore basso: meno di 5 categorie di servizi raggiungibili
- Valore medio: almeno 5 categorie raggiungibili
- Valore alto: almeno 6 categorie raggiungibili
- Valore ottimale: tutte e 7 le categorie sono raggiungibili nel raggio indicato.

In questo modo, l'indicatore fornisce una misura del grado di accessibilità locale ai servizi essenziali, rappresentando efficacemente il livello di prossimità che caratterizza le città a misura d'uomo, ovvero un'organizzazione funzionale capace di ridurre la necessità di spostamenti lunghi.

Modalità di calcolo

Calcolo dell'indice di prossimità:

Indicatori e parametri

$$\text{indice di prossimità} = \frac{(\text{class}_{\text{alto}} + \text{class}_{\text{ottimale}})}{AU}$$

class_{alto}: n° celle con almeno 6 categorie di servizi raggiungibili

class_{ottimale} : ° celle con tutte e 7 le categorie di servizi raggiungibili

AU: n° celle classificate come area urbanizzata AU

Fonti dei dati

Scuole pubbliche per l'infanzia, primarie e secondarie sul territorio nazionale, Banca dati MASE

http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/wfs/Scuole_statali_paritarie.map

Dato Open Street Map

<https://www.openstreetmap.org>

Indicatore 3.2 - Poli specializzati in area urbana densa

Descrizione sintetica

L'indicatore misura la percentuale di copertura territoriale delle celle che ospitano poli attrattori rispetto all'intera superficie delle aree urbane dense e suburbane e risulta rilevante per la valutazione della capacità attrattiva, in termini di flussi di persone, con particolare riferimento alla sua incidenza sulle forme di trasporto pubblico. Inoltre, l'indicatore tiene in considerazione la diversa proporzione tra la % di estensione delle AUD-L e delle ASU-L, ovvero considera oltre al rapporto di copertura dato dalle celle con presenza di attrattori nelle aree urbane dense ed in quelle suburbane, anche il peso dato dalla maggiore o minore consistenza delle medesime.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

Le categorie comprendono servizi pubblici di livello sovralocale e attività economiche rilevanti, che rappresentano poli attrattori di traffico. Esse includono:

- Istruzione (sedi universitarie, scuole secondarie di secondo grado e centri di ricerca)
- Sanità (ospedali)
- Attività sportive e culturali (stadi, grandi musei, teatri e altri centri culturali di rilievo)
- Attività economiche (aree produttive superiori a 4 ettari, centri commerciali e aree fieristiche)
- Sedi istituzionali di rango sovralocale (palazzi di giustizia, sedi regionali, provinciali o comunali e carceri)
- Hub di trasporto quali stazioni ferroviarie di categoria gold e platinum (secondo classificazione RFI), porti e aeroporti con traffico passeggeri significativo. (RIFERIMENTO valori aeroporti e porti in nota)

La base di partenza per la costruzione di questo indicatore è la suddivisione topografica delle sezioni censuarie, utilizzando la classificazione in macroaree fornita dai dati ISTAT. Questa viene integrata e confrontata con altre fonti più dettagliate e aggiornate (nel nostro caso OSM). Nel caso in cui non si trovasse una corrispondenza diretta con i dati ISTAT, le informazioni geometriche sono state aggiornate tramite nuova digitalizzazione, che potrebbe differire dalla topologia originaria delle sezioni censuarie. Per alcune categorie specifiche, come le aree produttive e gli hub di trasporto, l'indicatore si basa sulle geometrie degli edifici attrattori anziché sulle sezioni censuarie di riferimento.

Modalità di calcolo

Calcolo del livello di specializzazione funzionale dell'area urbana densa AUD:

$$specializzazione_{AUD} = \left(\frac{poli_AUD}{AUD} + \frac{poli_ASU}{AU} \right) * \frac{AUD_L}{AU_L}$$

poli_AUD: n° di celle AUD interessate dalla presenza di poli/polarità attrattive di rango sovralocale

poli_ASU: n° di celle ASU interessate dalla presenza di poli/polarità attrattive di rango sovralocale

AU: n° celle classificate come area urbanizzata AU

Calcolo dell'indice derivato in relazione alla propensione al TPL:

$$TPL = specializzazione_{AUD} * \left(\frac{AUD_L}{AU_L} \right) + specializzazione_{ASU} * \left(\frac{ASU_L}{AU_L} \right)$$

AUD: : n° di celle AUD

ASU: : n° di celle ASU

AU : n° di celle AU

Fonti dei dati

Scuole pubbliche per l'infanzia, primarie e secondarie sul territorio nazionale, Banca dati MASE

http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/wfs/Scuole_statali_paritarie.map

Dato Open Street Map

<https://www.openstreetmap.org>

Macroaree Istat: (Servizi di pubblica utilità)

<https://www.istat.it/notizia/caratteristiche-territoriali-sezioni-censimento-2021-raggruppate-in-macroaree/>

Indicatore 3.3 – Poli specializzati in area suburbana ASU**Descrizione sintetica**

L'indicatore misura la percentuale di copertura territoriale delle celle che ospitano poli attrattori nelle aree suburbane (ASU) rispetto all'intera superficie AU e risulta rilevante per la valutazione della capacità attrattiva, in termini di flussi di persone, con particolare riferimento alla sua incidenza sulle forme di trasporto legate all'uso sostenibile delle auto.

Alti valori corrispondono ad aree urbane con prevalenza di funzioni attrattive di rango sovralocale.

L'indicatore afferisce alla sola propensione all'uso sostenibile dell'auto.

Parametri, criteri ed aspetti applicativi

I parametri, criteri ed aspetti applicativi sono i medesimi dell'indicatore 3.2

Modalità di calcolo

Calcolo del livello di specializzazione funzionale dell'area suburbana ASU:

$$specializzazione_{ASU} = \frac{poli_{ASU}}{AU} * \frac{AUD_L}{AU_L}$$

poli_AUD: n° di celle AUD interessate dalla presenza di poli/polarità attrattive di rango sovralocale

poli_ASU: n° di celle ASU interessate dalla presenza di poli/polarità attrattive di rango sovralocale

AU: n° celle classificate come area urbanizzata AU

Calcolo dell'indice derivato in relazione alla propensione alla mobilità privata sostenibile:

$$mobilità\ privata\ sostenibile = specializzazione_{ASU} * \left(\frac{ASU_L}{AU_L}\right)$$

AUD: : n° di celle AUD

ASU: : n° di celle ASU

AU : n° di celle AU

Fonti dei dati

Vedi indicatore 3.2