

POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, e  
Rilevamento



## Sostenibilità ambientale ed economica delle aree urbane: il caso della città di Milano

Relatore: Prof. Marco Ponti

Correlatore: Prof. Stefano Caserini

Tesi di laurea di:

Jacopo Bassi Matr. 739571

Anno accademico 2010/2011



## Indice

1	Abstract.....	10
2	Consumi energetici: entità ed impatti.....	11
	2.1 Consumi energetici mondiali.....	11
	2.2 Il quadro europeo: potenzialità del risparmio energetico e controllo del clima.....	11
	2.3 Le azioni italiane e il quadro italiano.....	11
3	La sostenibilità del settore dei trasporti.....	13
	3.1 Trasporti urbani puliti e pendolarismo.....	14
4	I costi dei trasporti: esternalità.....	16
	4.1 Le esternalità: introduzione.....	16
	4.2 Costi marginali dei trasporti in Italia: valori suggeriti e stime.....	16
	4.3 Tasse e tariffe esistenti in Italia.....	25
5	Inquinamento atmosferico.....	35
	5.1 Le emissioni da combustione.....	35
	5.2 Le emissioni da fonti mobili.....	36
	5.3 Emissioni allo scarico.....	36
	5.4 Caratteristiche dei principali inquinanti atmosferici.....	38
	5.5 Dati regione Lombardia.....	44
	5.6 Dati Provincia di Milano.....	49
6	Accessibilità: definizione ed indicatori.....	56
	6.1 Caratteristiche degli indicatori dell'accessibilità.....	56
	6.2 Indicatori generici dell'accessibilità.....	58
7	I costi delle abitazioni.....	60
	7.1 Introduzione: le caratteristiche dei beni immobiliari.....	60
	7.2 Confronto fra mercato immobiliare e mercato di concorrenza perfetta.....	60
	7.3 Scarsità legale e scarsità naturale.....	61
	7.4 Rendita e posizione: il modello di von Thünen.....	62
	7.5 L'attualità del modello di von Thünen.....	63
	7.6 Applicazioni al caso urbano.....	63
8	Due indici per l'analisi territoriale.....	65
	8.1 Ambito di applicazione: i costi per le famiglie.....	65
	8.2 L'Affordability Index.....	66
	8.3 Il Consumo di Zona.....	71
	8.4 Confronto Affordability Index-Consumo di Zona.....	73
9	Applicazione al caso dell'area urbana di Milano.....	75
10	Costruzione degli indici per il caso applicativo.....	77

10.1	Consumi energetici.....	77
10.2	Costi di trasporto.....	78
10.3	Quotazioni immobiliari.....	79
11	Il modello del nodo di Milano.....	82
11.1	Sistema di zonizzazione.....	82
11.2	Descrizione della domanda di trasporti.....	83
11.3	Modalità di trasporto.....	84
11.4	Descrizione offerta di trasporto.....	85
11.5	Parametri del modello.....	87
11.6	Costi.....	88
11.7	Occupazione delle infrastrutture e dei mezzi.....	90
12	Risultati dell'applicazione degli indici alle zone di Milano.....	91
12.1	Valori medi.....	98
13	Commenti ai risultati.....	100
13.1	Considerazioni.....	109
14	Applicazioni per casi particolari.....	111
15	Conclusioni.....	121
16	Bibliografia.....	123

## Indice delle Figure

11.1 La zonizzazione della città di Milano.....	82
11.2 Zonizzazione dell’hinterland di Milano.....	83
11.3 Rete del Modello del Nodo di Milano.....	85
12.1 Mappatura città di Milano: Consumo di Zona(kWh/mese).....	95
12.2 Mappatura città di Milano: Consumo di Zona(€/mese).....	96
12.3 Mappatura città di Milano: Affordability Index (reddito basso).....	96
12.4 Mappatura città di Milano: Indice Unico.....	97

## Indice dei Grafici

4.1 Costi esterni percepiti dai viaggiatori nel contesto metropolitano.....	31
4.2 Costi percepiti dai viaggiatori nel contesto urbano.....	31
4.3 Costi percepiti dai viaggiatori in contesto rurale.....	31
4.4 Costi percepiti dai viaggiatori in autostrada.....	32
4.5 Livello di percezione dei costi esterni dai viaggiatori in autostrada senza considerare le tariffe e i costi legati alle infrastrutture.....	32
4.6 Livello di percezione dei costi esterni legati all’inquinamento atmosferico e all’immissione di gas serra in atmosfera dai viaggiatori in contesto metropolitano.....	33
5.1 Andamento dell’emissione di CO <sub>2</sub> dal 1850 al 2000.....	41
5.2 Andamento delle emissioni di CH <sub>4</sub> dal 1860 al 2000.....	42
5.3 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di SO <sub>2</sub> in Regione Lombardia.....	44
5.4 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di NO <sub>x</sub> in Regione Lombardia.....	45
5.5 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di COV in Regione Lombardia.....	45
5.6 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CH <sub>4</sub> in Regione Lombardia.....	46
5.7 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO in Regione Lombardia.....	46
5.8 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO <sub>2</sub> in Regione Lombardia.....	47
5.9 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PM <sub>2.5</sub> in Regione Lombardia.....	47
5.10 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PM <sub>10</sub> in Regione Lombardia.....	48

5.11 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PTS in Regione Lombardia.....	48
5.12 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di SO <sub>2</sub> in Provincia di Milano.....	49
5.13 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di NO <sub>x</sub> in Provincia di Milano.....	49
5.14 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di COV in Provincia di Milano.....	50
5.15 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CH <sub>4</sub> in Provincia di Milano.....	50
5.16 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO in Provincia di Milano.....	51
5.17 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO <sub>2</sub> in Provincia di Milano.....	51
5.18 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PM <sub>2,5</sub> in Provincia di Milano.....	51
5.19 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PM <sub>10</sub> in Provincia di Milano.....	51
5.20 Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PTS in Provincia di Milano.....	53
7.1 Relazione rendita-distanza dal centro.....	62

## Indice delle Tabelle

4.1	Caratteristiche dei veicoli e Cicli di Guida.....	17
4.2	Stima dei costi marginali legati alle infrastrutture.....	18
4.3	Stima costi marginali per gli incidenti.....	19
4.4	Monetizzazione ( $\text{€}_{2010}/\text{ton}$ )dei costi esterni dovuti all'inquinamento atmosferico.....	20
4.5	Costi esterni dovuti ad inquinamento espressi in $\text{€cent}_{2010}^* \text{km}$ .....	21
4.6	Monetizzazione costi dovuti all'inquinamento atmosferico.....	22
4.7	Monetizzazione costi dovuti ai cambiamenti climatici.....	23
4.8	Monetizzazione costi da sorgenti.....	24
4.9	Tassazione sui combustibili.....	25
4.10	Consumi di combustibile per le diverse classi di veicolo.....	26
4.11	Tasse pagate per km percorso dalle diverse categorie di veicolo.....	27
4.12	Tasse sui veicoli.....	28
4.13	Tariffe per le diverse categorie di veicolo.....	28
4.14	Auto a Gasolio (<1.4 l, EURO III). Valori in $\text{€cent}_{2010}/\text{km}$ .....	29
4.15	Veicoli pesanti (Diesel < 3,5 t, EURO III).Valori in $\text{€cent}_{2010}/\text{km}$ .....	29
4.16	Camion pesanti (< 7,5 t, EURO III).Valori in $\text{€cent}_{2010}/\text{km}$ .....	29
4.17	Veicoli articolati (28-34 t, Euro III) .Valori in $\text{€cent}_{2010}/\text{km}$ .....	29
5.1	Emissioni per la Provincia di Milano.....	54
5.2	Contributo quantitativo del solo trasporto urbano alle immissioni in atmosfera per il caso della città di Milano e incidenza percentuale rispetto alle immissioni provinciali.....	54
5.3	contributo quantitativo del riscaldamento domestico alle immissioni in atmosfera per il caso della città di Milano e incidenza percentuale rispetto alle immissioni provinciali.....	55
9.1	Caratteristiche degli indici AI e CdZ.....	76
10.1	Consumi energetici abitazioni di Milano.....	77
10.2	Affitti e Costi di Trasporto abitazioni di Milano.....	80
10.3	Valori medi di affitti e costi di trasporto per la città di Milano.....	81

11.1	Tipologie di viaggio nella città di Milano.....	84
11.2	Tipologie e Modalità di viaggio nella città di Milano.....	84
11.3	Intermodalità di viaggi nella città di Milano.....	87
12.1	Valori di CdZ per le aree di Milano.....	92
12.2	Valori di AI per le aree di Milano.....	93
12.3	Valori di IU per le aree di Milano.....	94
12.4	Media costi trasporto per aree periferiche e centrali della città di Milano.....	98
12.5	Media affitti per aree periferiche e centrali della città di Milano.....	98
12.6	Media costo monetario trasporto per aree periferiche e centrali della città di Milano....	98
12.7	Media consumo energetico dovuto al traffico di automobili e media della spesa economica legata all'uso dell'automobile.....	98
12.8	Valori medi dei tre indici per zone periferiche e centrali.....	99
13.1	Aree per le quali si hanno i valori più bassi del Consumo di Zona espresso in kWh/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile.....	100
13.2	Aree per le quali si hanno i valori più alti del Consumo di Zona espresso in kWh/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile.....	101
13.3	Sono riportati i contributi dei due dati che determinano il Consumo di Zona (kWh/mese) per un'abitazione in zona 1.....	101
13.4	Aree per le quali si hanno i valori più bassi del Consumo di Zona espresso in €/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile.....	103
13.5	Aree per le quali si hanno i valori più alti del Consumo di Zona espresso in €/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile.....	103
13.6	Sono riportati i contributi dei due dati che determinano il Consumo di Zona (€/mese) per un'abitazione in zona 1.....	103
13.7	Aree per le quali si hanno i valori più bassi dell'Affordability Index. Sono riportati il costo generalizzato di trasporto e i costi dell'affitto.....	105
13.8	Aree per le quali si hanno i valori più alti dell'Affordability Index. Sono riportati il costo generalizzato di trasporto e i costi dell'affitto.....	105
13.9	Sono riportati i contributi dei tre dati che determinano l'Affordability Index (Consumi Energetici, Costo di Trasporto, Costo dell'Affitto) per un'abitazione in zona 1 e di classe energetica G, mettendo in luce il peso che hanno i diversi contributi (differenziando, inoltre, il costo puramente monetario di trasporto ed il costo del tempo).....	106



13.10 -Aree per le quali si hanno i valori più bassi dell'Indice Unico. Sono riportati il costo monetario di trasporto e i costi dell'affitto..... 107

13.11 Aree per le quali si hanno i valori più alti dell'Indice Unico. Sono riportati il costo monetario di trasporto e i costi dell'affitto..... 107

13.12 Sono riportati i contributi dei tre dati che determinano l'Indice Unico(Consumi Energetici, Costo Monetario di Trasporto, Costo dell'Affitto) per un'abitazione in zona 1 e di classe energetica G, mettendo in luce il peso che hanno i diversi contributi..... 108

# ABSTRACT

Scopo del presente lavoro è il confronto fra due indici (Affordability Index e Consumo di Zona) che, seppur accomunati dal fatto di connotare aree di una città sulla base dei costi sostenuti da chi vi risiede (con particolare attenzione per quelle attività che hanno impatti ambientali), presentano caratteristiche differenti, che danno luogo a diverse descrizioni e classificazioni.

Il primo rapporta i costi (affitti, costo generalizzato trasporto, costi del riscaldamento delle case) con il reddito del cittadino che li sostiene, mentre il secondo non compie questo rapporto, ignorando inoltre i costi legati alla residenza, concentrandosi sui consumi energetici, e sulle spese economiche ad essi legate. L'obiettivo è quindi quello di analizzare tali differenze e valutare che tipo di indicazioni è possibile trarre non solo a livello teorico, ma anche per il decisore pubblico.

Verranno quindi considerati aspetti come l'accessibilità e gli impatti che le attività antropiche hanno sull'ambiente in un'ottica sociale, volta a comprendere le cause delle situazioni di inefficienza, e risolvere le stesse sulla base delle informazioni che emergeranno dall'analisi.

Verranno poi descritti i due indici, mettendone in luce affinità e differenze. I due indici saranno affiancati da un terzo, denominato Indice Unico, del tutto uguale all'Affordability Index, salvo per considerare il solo costo monetario del trasporto, e di non rapportare la somma delle tre voci di costo al reddito.

Gli stessi indici saranno quindi applicati alle diverse zone che compongono la città di Milano, che verranno descritte e classificate. A partire da questo risultato si giungerà alle conclusioni, evidenziando il legame tra i valori degli indici e le quotazioni immobiliari degli edifici e le possibili soluzioni a situazioni di inefficienza ambientale e/o economica.

Saranno anche elaborati alcuni esempi applicativi, per vedere che diverse informazioni sono offerte dagli indici, e quali suggerimenti emergono per il pianificatore.

# CONSUMI ENERGETICI: ENTITA' ED IMPATTI

In questo capitolo sarà preso in esame il tema del consumo energetico su scala nazionale; in particolare, saranno presentati dati che descrivono l'entità del consumo di energia da parte delle residenze civili dei cittadini.

## Consumi energetici mondiali

Nel 2004 i consumi mondiali d'energia primaria sono cresciuti del 3,7% ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007). Le dinamiche, tuttavia, variano fra le regioni del mondo, e sembrano fortemente correlate all'espansione dell'attività economica. In particolare, la domanda energetica cinese mostra un'importante progressione, con una crescita del 12,5% ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007). Nei principali Paesi industrializzati l'aumento dei consumi è stato più contenuto a causa della minore espansione dell'economia e dell'effetto dell'incremento dei prezzi energetici. Il 2004 è l'anno in cui i consumi energetici dei Paesi in via di sviluppo ha superato quelli dei Paesi OCSE.

Nel 2004 il petrolio ha coperto circa il 35,3% dei consumi complessivi d'energia primaria, il carbone il 24,6% e il gas naturale il 20,7%. Il restante 19,4% è costituito da energia elettrica primaria (9% circa, principalmente nucleare ed idroelettrica), e da biomassa (10,4 % circa).

Sulla scena ambientale internazionale il 2004 è stato caratterizzato da un ciclo serrato di negoziazioni, in particolare dell'Unione Europea con la Russia, per permettere l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, poi realizzatosi nel gennaio 2005.

## Il quadro europeo: potenzialità del risparmio energetico e controllo del clima

In Europa i consumi complessivi di energia per il riscaldamento superano di poco il 40% del totale, con grande influenza sulle emissioni di CO<sub>2</sub> ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007).

Questo quadro vede i consumi dell'Europa al 15% del totale mondiale, e l'Europa stessa al non invidiabile primato di essere il maggior importatore di energia ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007).

Sulla base delle tendenze attuali, entro il 2030 l'UE dipenderà per il 90% dalle importazioni per coprire il suo fabbisogno di petrolio e per l'80% per quello di gas naturale ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007). L'efficienza energetica è uno degli strumenti fondamentali per far fronte a questa sfida.

Secondo numerosi studi, l'UE potrebbe risparmiare almeno il 20% rispetto al suo attuale consumo di energia, per un importo pari a 60 miliardi di euro all'anno, equivalente al consumo energetico di Germania e Finlandia messe assieme ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007).

## Le azioni italiane e il quadro italiano

Sotto molti aspetti il livello nazionale sembra più adeguato per realizzare le misure volte all'efficienza energetica. L'azione delle autorità nazionali rafforza l'azione comunitaria che, da sola, non può risultare efficace nel lungo termine. Al tal fine le autorità nazionali devono essere incoraggiate ad avvalersi dell'intera vasta gamma di misure a loro disposizione, attraverso le attività degli organismi di regolamentazione, un migliore controllo della catena dell'approvvigionamento dell'energia, lo sviluppo di un meccanismo di certificazione e l'ottimizzazione del traffico stradale.

Nel nostro Paese il quadro energetico è analogo a quello europeo e con cifre ancor più pesanti: un 68% del totale va al riscaldamento, un altro 12% al riscaldamento dell'acqua sanitaria e un restante 20% per elettrodomestici e cucina ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007).

Con i suoi 26 milioni di appartamenti l'Italia supera del 30-40% i tassi di consumo europei per il riscaldamento ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007): quanto alla climatizzazione estiva il nostro Paese registra un aumento annuo degli impianti di condizionamento dell'ordine delle 800-900 mila unità ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007).

Da una indagine dell'ente europeo Eurima escono altri non invidiabili primati italiani: primi, su 20 Paesi, per emissioni di CO<sub>2</sub> e per consumo energetico imputabili all'edilizia (il 17,5% del totale europeo), e invece al terzultimo posto (sempre su 20) per qualità della coibenza termica dei fabbricati, con spessori medi dei pannelli isolanti dell'ordine di 5 centimetri contro i 20-30 degli isolamenti di qualità ("La casa passiva", Carotti, Madè, 2007).

# LA SOSTENIBILITA' DEL SETTORE DEI TRASPORTI

Il settore dei trasporti costituisce una componente fondamentale della moderna economia e della moderna società. La mobilità svolge un ruolo cruciale per il mercato interno e la qualità della vita dei cittadini che fruiscono della libertà di viaggiare. I trasporti sono funzionali alla crescita economica e all'occupazione, e devono essere sostenibili, per poter garantire alle generazioni future le stesse condizioni di benessere di quelle attuali.

Nei decenni futuri si ridurrà la disponibilità di petrolio e le fonti di approvvigionamento saranno meno sicure ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). Come sottolineato dall'Agenzia internazionale dell'energia (AIE), quanto più ridotta sarà la "decarbonizzazione" a livello mondiale tanto più il prezzo del petrolio sarà destinato ad aumentare ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). Nel 2010 l'Unione Europea ha importato petrolio per un controvalore di circa 210 miliardi di euro ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). In assenza di misure per contrastare questa dipendenza dal petrolio vi saranno conseguenze severe sulle possibilità di spostamento dei cittadini oltre che sull'inflazione, sulla bilancia commerciale e sulla competitività globale dell'economia europea.

Dalla grande crisi petrolifera degli anni '70 ad oggi il sistema dei trasporti non ha subito mutamenti fondamentali, nonostante il progresso tecnico, le potenzialità di miglioramento dell'efficienza energetica a costi ridotti e le politiche adottate. Se da un lato è migliorata l'efficienza energetica dei trasporti, in questo campo l'UE dipende tuttora dal petrolio e dai suoi derivati per coprire il 96% del fabbisogno energetico del settore dei trasporti ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). Oggi i trasporti inquinano meno, ma l'aumento dei volumi trasportati fa sì che questo settore rimanga una fonte primaria di inquinamento acustico ed atmosferico.

La mobilità è determinata dalle infrastrutture. Non è possibile realizzare cambiamenti di grande portata nel mondo dei trasporti senza il sostegno di un'adeguata rete e un uso più intelligente della stessa. Gli investimenti nell'infrastruttura di trasporto hanno un impatto positivo sulla crescita economica, creano ricchezza e occupazione e migliorano gli scambi commerciali, l'accessibilità geografica e la mobilità delle persone, ma devono essere pianificati in modo da massimizzarne l'impatto positivo sulla crescita economica e da ridurne al minimo le conseguenze negative sull'ambiente.

Ad oggi, il sistema dei trasporti dell'UE non è sostenibile. Con l'orizzonte dei prossimi 40 anni, è chiaro che il settore dei trasporti non può continuare a svilupparsi nel solco attuale. A scenario immutato, la dipendenza dei trasporti dal petrolio risulterebbe ancora poco inferiore al 90%, mentre l'energia ricavata da fonti rinnovabili si attesterebbe di poco al di sopra dell'obiettivo del 10% fissato per il 2020 ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). Nel 2050 le emissioni di CO<sub>2</sub> provocate dal settore dei trasporti rimarrebbero di un terzo superiori ai livelli del 1990 ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). Entro il 2050 i costi dovuti alla congestione aumenteranno del 50%, si accentuerà il divario di

accessibilità tra regioni centrali e periferiche e continueranno ad aumentare i costi sociali dovuti agli incidenti e all'inquinamento acustico ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011).

## **Trasporti urbani puliti e pendolarismo**

Nelle città il passaggio a modalità di trasporto meno inquinanti è facilitato dalla limitata varietà di veicoli necessari e dall'elevata densità della popolazione. Vi è un'ampia disponibilità di alternative di trasporto pubblico come pure la possibilità di spostarsi a piedi o in bicicletta. Le città patiscono maggiormente i problemi di congestione, scarsa qualità dell'aria ed esposizione all'inquinamento acustico.

Il trasporto urbano è responsabile di circa un quarto delle emissioni di CO<sub>2</sub> del settore dei trasporti a livello europeo ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). La graduale eliminazione dall'ambiente urbano dei veicoli alimentati con carburanti convenzionali è uno dei fattori che possono maggiormente contribuire alla riduzione della dipendenza dal petrolio, delle emissioni di gas serra e dell'inquinamento atmosferico ed acustico ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011).

Un aumento degli spostamenti con i mezzi di trasporto collettivi, combinato con un minimo di obblighi di servizio, permetterà di aumentare la densità e la frequenza del servizio, permetterà di aumentare la densità e la frequenza del servizio, generando così un circolo virtuoso per i modi di trasporto pubblici ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011). I volumi di traffico potranno essere ridotti anche grazie alla gestione delle domanda e alla pianificazione territoriale. Le misure per facilitare gli spostamenti a piedi e in bicicletta devono diventare parte integrante della progettazione infrastrutturale e della mobilità urbana ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011).

Deve essere incoraggiato l'uso di autoveicoli per passeggeri più piccoli, leggeri e specializzati. Il cospicuo parco veicoli urbano composto da autobus, taxi e furgoni per le consegne si presta particolarmente bene all'introduzione di sistemi di propulsione e carburanti alternativi. In questo modo si potrebbe contribuire in modo sostanziale a ridurre l'intensità di carbonio dei trasporti urbani, fornendo al contempo un banco di prova per le nuove tecnologie, e opportunità per una rapida commercializzazione delle innovazioni. L'uso dei trasporti pubblici e la graduale introduzione di propulsori alternativi possono essere favoriti inoltre dall'introduzione di pedaggi stradali e dall'eliminazione di distorsioni della tassazione ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011).

E' necessario organizzare in modo più efficiente l'interfaccia tra il trasporto merci di lunga distanza e quello relativo all'ultimo miglio, con l'obiettivo di limitare le consegne individuali (la parte più inefficiente del tragitto) a percorrenza il più breve possibile. L'uso dei sistemi di trasporto intelligenti contribuisce a una gestione del traffico in tempo reale, riducendo i tempi di consegna e la congestione dell'ultimo miglio. In questo ambito potrebbero essere usati autocarri urbani a basse emissioni. L'uso di tecnologie che utilizzano elettricità o idrogeno e di tecnologie ibride permetterà di ridurre, oltre a quello atmosferico, anche

l'inquinamento acustico, consentendo così di effettuare nelle ore notturne una buona parte del trasporto merci nelle aree urbane e limitare il problema della congestione stradale nelle ore di punta del mattino e del pomeriggio ("LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", Comunità Europea, 2011).

# I COSTI DEI TRASPORTI: ESTERNALITA'

In questo capitolo sarà esaminato il tema dei costi legati ai trasporti, in particolare quelli esterni, ovvero quelli non percepiti dagli utenti. Verranno presentate delle stime e degli esempi di applicazione di strumenti in grado di presentare una soluzione al problema. Per i costi intrinseci ai trasporti, si rimanda al capitolo relativo al modello del nodo di Milano.

## Le esternalità: introduzione

Il tema dei costi esterni dei trasporti è stato ed è largamente studiato da scienziati e politici, in tutta la sua complessità ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011). La presenza di esternalità porta ad un non ottimale sovra-consumo dei trasporti: la teoria economica dice infatti che, al fine di massimizzare l'utilità sociale, il prezzo deve essere uguale ai costi per la comunità. Una delle modalità per controllare questi costi sociali, riducendo le perdite in termini di benessere sociale associate alle esternalità, è l'internalizzazione di questi costi tramite tariffe come road pricing, carbon tax, tasse di scopo ecc.

Quando una tassazione indiretta viene introdotta, essa porta ad un innalzamento dei costi percepiti: se queste tasse sono equivalenti ai costi esterni, gli utenti percepiranno l'intero costo sociale e consumeranno di conseguenza.

In Italia esistono già delle tassazioni indirette: di seguito si vedrà se esse riescono ad internalizzare i costi in maniera adeguata. I riferimenti analizzati ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) studiano diverse tipologie di traffico (metropolitano, urbano, rurale, autostrada). Per gli scopi di questo lavoro, ovviamente, sono di interesse i casi relativi al trasporto urbano.

## Costi marginali dei trasporti in Italia: valori suggeriti e stime

Sono state esaminate ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) le categorie di costi esterni e conseguentemente suggerite possibili valutazioni inerenti al contesto italiano. L'analisi è svolta in modo dettagliato, considerando il tipo di veicolo, il contesto in cui avviene l'emissione (come già detto, metropolitano, urbano, rurale, autostrada), l'orario del giorno, il ciclo di guida e la tecnologia del veicolo.

I costi esterni considerati sono relativi ai seguenti ambiti:

- 1) Infrastrutture (manutenzione e interventi vari);
- 2) Incidenti;
- 3) Inquinamento atmosferico;
- 4) Rumore;
- 5) Emissioni di gas serra;

Le ragioni per cui la congestione non è considerata sono fornite nel paragrafo corrispondente.



## Classi di veicoli considerate

L'analisi ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) si concentra su 3 classi di veicoli: EURO 1, EURO 2 ed EURO 5, che rappresentano, rispettivamente, i veicoli obsoleti, medi e di ultima tecnologia. I cicli di guida considerati sono quelli urbani, rurali ed autostradali. Quando si applicano i costi esterni al contesto urbano devono essere considerati alcuni dettagli, dividendo le situazioni in due tipologie: aree metropolitane con alta densità, dove un alto numero di persone sono soggette all'inquinamento, e "normali" condizioni urbane. Nella tabella 4.1 sono riassunte le caratteristiche dei veicoli:

<i>Vehicle type</i>	<i>Engine</i>	<i>Engine class</i>	<i>Emission class</i>	<i>Driving cycle</i>
Passenger Cars	Gasoline	<1,4 l (not for diesel)		
	Diesel	1,4 - 2,0 l		
	Hybrid Gasoline	>2,0 l		
Light Duty Vehicles	Diesel	<3,5 t		
Heavy Duty Vehicles	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro 1	metropolitan areas
		Rigid 14 - 20 t	Euro 3	urban
		Articulated 28 - 34 t	Euro 5	rural
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t Coaches Standard <=18 t	Euro 4 (hybrid only)	highway
Mopeds	Gasoline	<50 cm <sup>3</sup>		
Motoveicoli	Gasoline	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>		

Tabella 4.1 – Caratteristiche dei veicoli e Cicli di Guida

## Infrastrutture

Sono i costi esterni più conosciuti: se gli utenti non pagano nulla per lo sfruttamento delle infrastrutture, ovviamente non percepiscono il costo delle operazioni di manutenzione conseguenti al loro utilizzo. Il costo marginale è "il costo della gestione delle infrastrutture per ogni unità marginale di traffico che le utilizza" ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011). Le componenti di questo costo sono tre:

- 1) I danni causati dal deterioramento delle strade, intesi come aumento delle operazioni sui veicoli, basse velocità e meno comfort;
- 2) Usura, deterioramento della strada;
- 3) I danni "occasional", cioè quelli non relativi all'ordinaria manutenzione.

Per la loro stima, esistono quattro approcci ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011):

- 1) L'approccio diretto, che usa il modello PMS (Pavement Management System) per stimare i costi marginali dovuti all'uso delle strade;
- 2) L'approccio indiretto, che si focalizza sulle conseguenze dei danni alle strade e sui periodici costi di manutenzione sotto forma di ricopertura;
- 3) L'approccio "club ed equità", che cerca di allocare i costi totali tra gli utenti, dividendoli in fissi e variabili;
- 4) L'approccio econometrico, che cerca di stimare una funzione di costo sulla base delle teorie microeconomiche.

La tabella 4.2 mostra che i costi sono bassi per le piccole vetture, mentre sono maggiormente considerevoli per quelle più grosse:

<i>Source</i>	<i>Approach</i>	<i>Country</i>	<i>Vehicle</i>	<i>Marginal cost</i> <i>[€cent<sub>2010</sub>/vkm]</i>	
				low	high
Bruzelius et al., 2004	Direct approach	Sweden	Car	0.31	
			Pick up	0.75	
			Light Truck	1.58	
			Truck	8.86	
Vagerket (2000)	Indirect approach	Sweden	Car	0.13	
			Heavy truck	1.90	
Sansom et al (2001)	Club and equity	UK	Car	0.07	0.10
			LGV	0.08	0.11
			HGV - rigid	5.30	6.88
			HGV - articulated	10.56	13.74
Link (2002)	Econometric	Germany	Car	0.06	
			Truck	3.07	
CE (2004)	<i>Not specified</i>	Netherlands	Car	0.03	
			HGV < 12 ton	11.88	
			HGV > 12 ton	6.22	
			HGV tractor-trailer	14.15	

Tabella 4.2 – Stima dei costi marginali legati alle infrastrutture

## Incidenti

L'aumento della sicurezza del trasporto stradale è una delle questioni più importanti che i decisori politici devono affrontare, ed è una delle voci relative alle problematiche dei trasporti più relazionate ai costi sociali, specie nei contesti urbani ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011).

I costi da incidenti si dividono in alcune categorie: danneggiamento dei materiali, costi amministrativi, costi medici, costi legati al danneggiamento delle attività economiche in conseguenza ad incidenti, altri danni (monetizzati) dovuti al traffico ("Handbook of estimation of external costs in the transport sector", CE Delft, 2008). Una parte di questi costi sociali è già coperta dai premi delle compagnie assicurative, così che solo la restante parte del costo è da considerarsi esterna.

Usando i dati del 2002 relativi a 1.430.000€ per evitare incidenti, 183.700€ e 14.100€ spesi per evitare danni (per le persone) rispettivamente pesanti e lievi, per l'Italia i costi marginali stimati sono esposti nella tabella 4.3 ("Handbook of estimation of external costs in the transport sector", CE Delft, 2008) :

€ct <sub>2010</sub> /vkm	<i>Passenger cars</i>			<i>Motor cycles</i>			<i>Heavy Duty Vehicles</i>		
	Urban roads	Motorways	Other roads	Urban roads	Motorways	Other roads	Urban roads	Motorways	Other roads
Central	5.97	0.42	2.27	43.90	0.29	7.81	15.20	0.42	3.83
Lower	-0.42	-0.71	-2.70	-2.70	-0.85	-15.77	-0.57	-0.42	-3.69
Upper	9.37	0.71	3.69	125.32	0.85	22.17	20.17	0.42	5.12

Tabella 4.3 – Stima costi marginali per gli incidenti

Dove:

- 1) Central estimates: il valore del rischio di una vittima frutto di fatalità (e cioè senza che vi siano responsabilità da parte di altri soggetti) è considerato esterno;
- 2) Lower margin: il rischio di incidenti medio è internalizzato dagli utenti della rete di trasporto;
- 3) Upper margin: la media del rischio incidenti non è internalizzata.

Nello studio esaminato (“External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy”, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) ci si riferisce alle stime centrali, cioè quelle medie.

### **Inquinamento dell’aria**

E’ di certo l’esternalità più nota, nell’opinione pubblica. Con “inquinamento dell’aria” si intende il complesso di effetti negativi dovuti alla combustione e l’emissione di gas e materiali in atmosfera. L’inquinamento atmosferico è dovuto a diverse sostanze, ognuna con differenti (ma sempre negativi) effetti sulla salute umana e sull’ambiente. I maggiori inquinanti sono (come sarà poi più approfonditamente illustrato nel capitolo inerente):

- 1) NO<sub>x</sub>, ossidi di azoto, generati dalla combustione ad alte temperature. Determinano l’ossidazione fotochimica con la produzione di ozono, lo smog e le piogge acide;
- 2) SO<sub>2</sub>, tipico dei diesel, causa piogge acide;
- 3) PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, particolato dovuto alla combustione e al consumo di materiale (sia della macchina che della strada), causano danni alla salute umana;
- 4) CO, monossido di carbonio, dovuto all’incompletezza della combustione: è velenoso.

Nei documenti analizzati (“External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy”, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) sono state calcolate le emissioni specifiche per le tipologie di veicolo citate precedentemente. Si ha così il valore delle emissioni unitarie per km percorso, tenendo conto delle condizioni di viaggio (urbane, rurali, autostradali) e delle condizioni atmosferiche (temperatura, pressione), riferite alle velocità medie (37, 75 e 120 km/h rispettivamente per contesto urbano, rurale ed autostrada per le auto, gli altri veicoli hanno velocità proporzionali, “External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy”, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) e ad un tempo medio di percorso di 30 min per viaggio. Sono considerate sia le emissioni prodotte durante il funzionamento a regime del motore (“hot emissions”) che quelle prodotte all’avviamento del motore (“cold emissions”). I valori dei costi marginali espressi in €<sub>2010</sub>/ton sono riportati nella tabella 4.4.

<i>[€<sub>2010</sub>/ton]</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>PM<sub>2.5</sub></i>	<i>PM<sub>10</sub></i>	<i>CO</i>
dense metropolitan areas	7.114	7.613	463.757	185.453	19
urban areas			149.885	59.904	
non-urban areas	7.114	7.613	84.365	33.821	3

*Tabella 4.4 – Monetizzazione (€<sub>2010</sub>/ton)dei costi esterni dovuti all'inquinamento atmosferico*

I risultati, espressi in €cent<sub>2010</sub> \*km sono invece illustrati nella tabella 4.5. Si può notare come le auto a gasolio più piccole inquinino maggiormente, rispetto a quelle più pesanti che usano lo stesso combustibile. Cioè è dovuto probabilmente al fatto che queste ultime montano dei sistemi tecnologicamente più sofisticati per il controllo degli inquinanti (External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011).

Sector	Subsector	Technology	Metropolitan [€cent/km]	Urban [€cent/km]	Rural [€cent/km]	Highway [€cent/km]
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	EURO 1	1.64	0.85	0.32	0.54
		EURO 3	1.16	0.48	0.15	0.14
		EURO 5	1.09	0.41	0.12	0.09
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	EURO 1	1.63	0.84	0.32	0.54
		EURO 3	1.16	0.48	0.15	0.14
		EURO 5	1.09	0.41	0.12	0.09
	Gasoline >2,0 l	EURO 1	1.56	0.77	0.32	0.54
		EURO 3	1.13	0.45	0.15	0.14
		EURO 5	1.08	0.40	0.12	0.09
	Diesel <2,0 l	EURO 1	7.78	2.84	1.35	2.74
		EURO 3	5.06	2.02	1.01	1.69
		EURO 5	1.41	0.67	0.33	0.52
	Diesel >2,0 l	EURO 1	7.78	2.84	1.35	2.74
		EURO 3	5.06	2.02	1.01	1.69
		EURO 5	1.41	0.67	0.33	0.52
Hybrid Gasoline <1,4 l	PC EURO 4	0.91	0.30	0.11	0.07	
	PC EURO 4	0.91	0.30	0.11	0.07	
	PC EURO 4	0.91	0.30	0.11	0.07	
Hybrid Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC EURO 4	0.91	0.30	0.11	0.07	
	PC EURO 4	0.91	0.30	0.11	0.07	
	PC EURO 4	0.91	0.30	0.11	0.07	
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD EURO 1	10.43	3.99	1.88	3.79
		LD EURO 3	8.12	3.14	1.49	2.91
		LD EURO 5	2.05	0.96	0.52	0.68
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD EURO I	17.45	7.18	3.80	3.98
		HD EURO III	11.68	5.16	2.71	2.64
		HD EURO V	6.21	3.19	1.15	0.69
	Rigid 14 - 20 t	HD EURO I	38.63	16.28	7.27	6.58
		HD EURO III	24.33	11.37	5.36	4.62
		HD EURO V	11.17	6.81	2.62	1.45
	Articulated 28 - 34 t	HD EURO I	61.32	25.92	11.09	9.71
		HD EURO III	35.83	16.94	7.96	6.81
		HD EURO V	16.03	9.21	3.17	1.95
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD EURO I	48.65	21.10	9.29	7.59
		HD EURO III	29.20	14.79	6.65	4.95
		HD EURO V	13.61	8.29	2.81	1.92
Coaches Standard <=18 t	HD EURO I	59.65	25.31	9.78	7.03	
	HD EURO III	40.61	19.69	7.64	5.35	
	HD EURO V	18.05	11.48	4.18	1.70	
Mopeds	<50 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	6.68	2.17	1.22	1.21
		MOP EURO III	1.54	0.62	0.42	0.39
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	2.27	0.87	0.61	0.75
		MOP EURO III	0.98	0.42	0.31	0.46

Tabella 4.5 – Costi esterni dovuti ad inquinamento espressi in €cent<sub>2010</sub>\*km

## Inquinamento acustico

I costi dovuti al rumore sono relativi a due conseguenze;

- 1) Costo della mancanza di comfort per gli abitanti;
- 2) Costi sanitari.

Una stima dei valori dei costi marginali dovuti all'inquinamento acustico è ardua, se non impossibile, ma il lavoro esaminato ("Handbook of estimation of external costs in the transport sector", CE Delft, 2008) offre comunque una stima per le vetture EU15 operando differenziazioni tra giorno/notte, stime lower (traffico intenso)/centrali (traffico in condizioni normali)/upper (traffico snello) e percorso urbano/suburbano/rurale.

<i>€ct2010/vkm</i>	<i>Time of day</i>		<i>Urban</i>	<i>Suburban</i>	<i>Rural</i>
<b>Car</b>	Day	<b>Central</b>	<b>0.977</b>	<b>0.154</b>	<b>0.013</b>
		Lower	0.977	0.051	0.013
		Upper	2.379	0.154	0.018
	Night	<b>Central</b>	<b>1.787</b>	<b>0.283</b>	<b>0.039</b>
		Lower	1.787	0.103	0.013
		Upper	4.333	0.283	0.039
<b>Motorcycle</b>	Day	<b>Central</b>	<b>1.967</b>	<b>0.309</b>	<b>0.039</b>
		Lower	1.967	0.116	0.013
		Upper	4.757	0.309	0.039
	Night	<b>Central</b>	<b>3.574</b>	<b>0.566</b>	<b>0.064</b>
		Lower	3.574	0.206	0.026
		Upper	8.666	0.566	0.064
<b>Bus</b>	Day	<b>Central</b>	<b>4.899</b>	<b>0.759</b>	<b>0.090</b>
		Lower	4.899	0.270	0.039
		Upper	11.893	0.759	0.900
	Night	<b>Central</b>	<b>8.936</b>	<b>1.414</b>	<b>0.167</b>
		Lower	8.473	0.501	0.077
		Upper	21.652	1.414	0.167
<b>Light goods vehicle</b>	Day	<b>Central</b>	<b>4.899</b>	<b>0.759</b>	<b>0.090</b>
		Lower	4.899	0.270	0.039
		Upper	11.893	0.759	0.900
	Night	<b>Central</b>	<b>8.936</b>	<b>1.414</b>	<b>0.167</b>
		Lower	8.473	0.501	0.077
		Upper	21.652	1.414	0.167
<b>Heavy goods vehicle</b>	Day	<b>Central</b>	<b>9.013</b>	<b>1.414</b>	<b>0.167</b>
		Lower	9.013	0.501	0.077
		Upper	21.858	1.414	0.167
	Night	<b>Central</b>	<b>16.432</b>	<b>2.572</b>	<b>0.296</b>
		Lower	16.432	0.926	0.141
		Upper	39.833	2.572	0.296

Tabella 4.6 – Monetizzazione costi dovuti all'inquinamento atmosferico

## Cambiamenti climatici

E' largamente riconosciuto che l'incremento della concentrazione di certi gas in atmosfera, alcuni dei quali non pericolosi per la salute umana, provoca dei cambiamenti climatici (intesi come innalzamento delle temperature). Questi gas sono: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. I costi esterni sono i costi degli effetti negativi a loro connessi, relazionati in genere all'innalzamento delle temperature e all'estremizzazioni dei fenomeni atmosferici.

Questi gas sono prodotto dalla combustione della benzina, e dei combustibili fossili in genere. L'emissione di CO<sub>2</sub> dipende dal tipo di combustibile e dall'efficienza del mezzo.

I gas serra sono trasformati in termini di CO<sub>2</sub> equivalente, con un costo di 25€/ton (dato 2010).

I dati usati esprimono (in €cent) l'effetto dei gas serra per km percorso. Il danno non dipende dal luogo di emissione, ma dal tipo di percorso compiuto dal veicolo. Ecco perché in tabella 4.7 si riportano ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) i costi relativi ai percorsi urbani, rurali, metropolitani.

<i>Sector</i>	<i>Subsector</i>	<i>Technology</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>	
			[€/cent/km]	[€/cent/km]	[€/cent/km]	
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	EURO 1	0.50	0.33	0.44	
		EURO 3	0.50	0.33	0.41	
		EURO 5	0.51	0.34	0.41	
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	EURO 1	0.60	0.38	0.49	
		EURO 3	0.60	0.38	0.47	
		EURO 5	0.61	0.41	0.48	
	Gasoline >2,0 l	EURO 1	0.78	0.48	0.62	
		EURO 3	0.74	0.44	0.49	
		EURO 5	0.86	0.51	0.57	
	Diesel <2,0 l	EURO 1	0.46	0.34	0.46	
		EURO 3	0.47	0.34	0.42	
		EURO 5	0.47	0.34	0.42	
	Diesel >2,0 l	EURO 1	0.62	0.46	0.60	
		EURO 3	0.63	0.46	0.60	
		EURO 5	0.63	0.46	0.60	
Hybrid Gasoline <1,4 l	PC EURO 4	0.24	0.25	0.36		
	PC EURO 4	0.24	0.25	0.36		
	PC EURO 4	0.24	0.25	0.36		
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD EURO 1	0.66	0.48	0.82	
		LD EURO 3	0.67	0.48	0.82	
		LD EURO 5	0.67	0.48	0.82	
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD EURO I	0.93	0.72	0.87	
		HD EURO III	0.93	0.73	0.89	
		HD EURO V	0.86	0.72	0.89	
	Rigid 14 - 20 t	HD EURO I	2.01	1.35	1.33	
		HD EURO III	2.02	1.36	1.32	
		HD EURO V	1.86	1.31	1.28	
	Articulated 28 - 34 t	HD EURO I	3.19	2.03	1.79	
		HD EURO III	3.20	2.03	1.78	
		HD EURO V	2.98	1.99	1.74	
	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD EURO I	2.80	1.78	1.55
			HD EURO III	2.81	1.83	1.62
			HD EURO V	2.54	1.75	1.50
Coaches Standard <=18 t		HD EURO I	3.20	1.79	1.39	
		HD EURO III	3.45	1.93	1.48	
		HD EURO V	3.14	1.89	1.47	
Mopeds	<50 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	0.12	0.12	0.12	
		MOP EURO III	0.08	0.08	0.09	
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	0.18	0.18	0.28	
		MOP EURO III	0.16	0.15	0.21	

Tabella 4.7 – Monetizzazione costi dovuti ai cambiamenti climatici

## Inquinamento da sorgenti

La produzione di combustibile, la produzione e la manutenzione dei veicoli e la loro costruzione, la manutenzione e la messa a disposizione delle infrastrutture causano costi esterni. In termini di costi marginali, solo i costi della produzione di combustibili sono rilevanti (External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011). Essi provocano sia inquinamento atmosferico (con costi annessi) che cambiamenti climatici.

Sector	Subsector	Technology	Urban	Rural	Highway	
			[€cent/km]	[€cent/km]	[€cent/km]	
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	EURO 1	0.50	0.33	0.44	
		EURO 3	0.50	0.33	0.41	
		EURO 5	0.51	0.34	0.41	
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	EURO 1	0.60	0.38	0.49	
		EURO 3	0.60	0.38	0.47	
		EURO 5	0.61	0.41	0.48	
	Gasoline >2,0 l	EURO 1	0.78	0.48	0.62	
		EURO 3	0.74	0.44	0.49	
		EURO 5	0.86	0.51	0.57	
	Diesel <2,0 l	EURO 1	0.46	0.34	0.46	
		EURO 3	0.47	0.34	0.42	
		EURO 5	0.47	0.34	0.42	
	Diesel >2,0 l	EURO 1	0.62	0.46	0.60	
		EURO 3	0.63	0.46	0.60	
		EURO 5	0.63	0.46	0.60	
	Light Duty Vehicles	Hybrid Gasoline <1,4 l	PC EURO 4	0.24	0.25	0.36
		Hybrid Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC EURO 4	0.24	0.25	0.36
		Hybrid Gasoline >2,0 l	PC EURO 4	0.24	0.25	0.36
Diesel <3,5 t		LD EURO 1	0.66	0.48	0.82	
		LD EURO 3	0.67	0.48	0.82	
		LD EURO 5	0.67	0.48	0.82	
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD EURO I	0.93	0.72	0.87	
		HD EURO III	0.93	0.73	0.89	
		HD EURO V	0.86	0.72	0.89	
	Rigid 14 - 20 t	HD EURO I	2.01	1.35	1.33	
		HD EURO III	2.02	1.36	1.32	
		HD EURO V	1.86	1.31	1.28	
	Articulated 28 - 34 t	HD EURO I	3.19	2.03	1.79	
		HD EURO III	3.20	2.03	1.78	
		HD EURO V	2.98	1.99	1.74	
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD EURO I	2.80	1.78	1.55	
		HD EURO III	2.81	1.83	1.62	
		HD EURO V	2.54	1.75	1.50	
	Coaches Standard <=18 t	HD EURO I	3.20	1.79	1.39	
		HD EURO III	3.45	1.93	1.48	
		HD EURO V	3.14	1.89	1.47	
Mopeds	<50 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	0.12	0.12	0.12	
		MOP EURO III	0.08	0.08	0.09	
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	0.18	0.18	0.28	
		MOP EURO III	0.16	0.15	0.21	

Tabella 4.8 – Monetizzazione costi da sorgenti

## Congestione

Il fenomeno della congestione ha due componenti: uno interno, come per esempio l'aumento dei tempi di viaggio percepiti dai viaggiatori, ed uno esterno, come l'aumento dei tempi di viaggio percepito dagli altri utenti, dovuto al sovraffollamento della rete di trasporto. La congestione è la voce più significativa dei costi esterni dei trasporti ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011).

Esistono però delle ragioni che hanno portato a non considerare questa voce nel lavoro preso in esame ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy, Grimaldi, Beria, Ponti", 2011):

- 1) È un fenomeno difficile da valutare, sia per le diversità di contesto che per le differenze di intensità;



- 2) Non c'è relazione significativa tra consumo di combustibile e congestione, ragion per cui è inutile mettere una tassa sul combustibile per alleggerire il problema della congestione;
- 3) E' da considerare come un'esternalità di club, non dell'intera società.

Un'altra voce di costo non considerata ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) è quella dei parcheggi: i costi dei parcheggi spesso non sono avvertiti dai consumatori, e quando la domanda è più alta dell'offerta (caso tipico delle città metropolitane o dei contesti urbani) i viaggiatori cominciano a circolare in cerca di parcheggio, spendo tempo e incrementando la distanza e quindi anche i costi esterni visti prima.

## Tasse e tariffe esistenti in Italia

Come già detto, la presenza di una tassazione indiretta specifica sui trasporti fa crescere i costi percepiti da parte di chi viaggia. Sono considerate di seguito tre voci (una delle quali, l'ultima, viene presentata sebbene, ovviamente, inapplicabile al tipo di lavoro svolto in questo elaborato) che costituiscono tre possibili soluzioni:

- 1) Tasse sul combustibile;
- 2) Dazi sui veicoli;
- 3) Tariffe autostradali.

### Tassa sul combustibile

Esistono due tipi di tasse applicate sul combustibile in Italia ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011): dazi sul combustibile veri e propri e la tassazione sul valore aggiunto (in inglese Valued Added Tax, VAT). Quest'ultimo tipo di tassazione può non essere considerata: infatti, benché se applicata ai combustibili essa risulti una tassazione specifica sul settore dei trasporti, la sua applicazione al prezzo che il produttore percepisce non è diverso dalla tassazione ordinaria.

<i>Fuel type</i>	<i>Excise duty</i>	<i>VAT (20%) on excise duty</i>	<i>Total fuel taxes</i>
Gasoline	57.130 €cent/litre	11.426 €cent/litre	68.656 €cent/litre
Diesel	43.030 €cent/litre	8.606 €cent/litre	51.636 €cent/litre

*Tabella 4.9 – Tassazione sui combustibili*

Si può stimare il pagamento di questo genere di tasse operando una differenziazione tra categorie di veicolo in diversi contesti partendo dalla tabella 4.10 che considera i consumi di combustibile:

<i>Sector</i>	<i>Subsector</i>	<i>Technology</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>	
			[l/km]	[l/km]	[l/km]	
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	EURO 1	0.084	0.057	0.076	
		EURO 3	0.086	0.057	0.072	
		EURO 5	0.088	0.060	0.073	
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	EURO 1	0.103	0.065	0.085	
		EURO 3	0.103	0.067	0.083	
		EURO 5	0.106	0.071	0.084	
	Gasoline >2,0 l	EURO 1	0.133	0.083	0.108	
		EURO 3	0.128	0.076	0.086	
		EURO 5	0.150	0.090	0.100	
	Diesel <2,0 l	EURO 1	0.069	0.051	0.070	
		EURO 3	0.070	0.051	0.064	
		EURO 5	0.070	0.051	0.064	
	Diesel >2,0 l	EURO 1	0.094	0.069	0.091	
		EURO 3	0.094	0.069	0.091	
		EURO 5	0.094	0.069	0.091	
Light Duty Vehicles	Hybrid Gasoline <1,4 l	PC EURO 4	0.042	0.044	0.063	
	Hybrid Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC EURO 4	0.042	0.044	0.063	
	Hybrid Gasoline >2,0 l	PC EURO 4	0.042	0.044	0.063	
	Diesel <3,5 t	LD EURO 1	0.101	0.072	0.124	
		LD EURO 3	0.101	0.072	0.124	
		LD EURO 5	0.101	0.072	0.124	
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD EURO I	0.141	0.108	0.132	
		HD EURO III	0.141	0.110	0.135	
		HD EURO V	0.130	0.107	0.132	
	Rigid 14 - 20 t	HD EURO I	0.304	0.204	0.200	
		HD EURO III	0.307	0.206	0.200	
		HD EURO V	0.281	0.195	0.190	
	Articulated 28 - 34 t	HD EURO I	0.483	0.305	0.270	
		HD EURO III	0.485	0.307	0.269	
		HD EURO V	0.451	0.293	0.258	
	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD EURO I	0.424	0.270	0.234
			HD EURO III	0.427	0.278	0.246
			HD EURO V	0.385	0.266	0.228
Coaches Standard <=18 t		HD EURO I	0.485	0.270	0.210	
		HD EURO III	0.523	0.292	0.224	
		HD EURO V	0.476	0.281	0.219	
Mopeds	<50 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	0.020	0.020	0.021	
		MOP EURO III	0.014	0.014	0.015	
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	0.032	0.030	0.047	
		MOP EURO III	0.028	0.026	0.036	

Tabella 4.1 0 – Consumi di combustibile per le diverse classi di veicolo

Il dato relativo alle tasse pagate per km percorso è riassunto nella tabella 4.11:

Sector	Subsector	Technology	Urban	Rural	Highway
			[€/cent/km]	[€/cent/km]	[€/cent/km]
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	EURO 1	5.76	3.89	5.18
		EURO 3	5.90	3.91	4.93
		EURO 5	6.05	4.11	4.99
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	EURO 1	7.03	4.47	5.80
		EURO 3	7.10	4.60	5.70
		EURO 5	7.28	4.87	5.77
	Gasoline >2,0 l	EURO 1	9.12	5.67	7.37
		EURO 3	8.77	5.24	5.89
		EURO 5	10.26	6.16	6.83
	Diesel <2,0 l	EURO 1	3.57	2.63	3.61
		EURO 3	3.63	2.65	3.29
		EURO 5	3.63	2.65	3.29
	Diesel >2,0 l	EURO 1	4.86	3.58	4.69
		EURO 3	4.86	3.58	4.69
		EURO 5	4.86	3.58	4.69
Hybrid Gasoline <1,4 l	PC EURO 4	2.88	3.02	4.35	
	PC EURO 4	2.88	3.02	4.35	
	PC EURO 4	2.88	3.02	4.35	
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD EURO 1	5.19	3.72	6.38
		LD EURO 3	5.19	3.72	6.38
		LD EURO 5	5.19	3.72	6.38
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD EURO I	7.26	5.60	6.80
		HD EURO III	7.30	5.67	6.95
		HD EURO V	6.71	5.51	6.83
	Rigid 14 - 20 t	HD EURO I	15.71	10.52	10.33
		HD EURO III	15.85	10.62	10.34
		HD EURO V	14.50	10.05	9.81
	Articulated 28 - 34 t	HD EURO I	24.93	15.75	13.95
		HD EURO III	25.06	15.85	13.87
		HD EURO V	23.27	15.15	13.31
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD EURO I	21.88	13.95	12.10
		HD EURO III	22.03	14.36	12.69
		HD EURO V	19.86	13.71	11.78
	Coaches Standard <=18 t	HD EURO I	25.07	13.93	10.84
		HD EURO III	27.01	15.05	11.56
Mopeds	<50 cm <sup>3</sup>	HD EURO V	24.58	14.52	11.29
		MOP EURO I	1.39	1.39	1.43
		MOP EURO III	0.97	0.97	1.00
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	MOP EURO I	2.16	2.08	3.21
		MOP EURO III	1.93	1.76	2.43

Tabella 4.11 – Tasse pagate per km percorso dalle diverse categorie di veicolo

## Tasse sui veicoli

Nei loro studi sulla situazione in Gran Bretagna, Sansom et al. (2001) sostengono che i dazi sui veicoli dovrebbero essere inclusi nel gettito che arriva dalla tassazione sui grandi veicoli (con peso superiore ai 3.500 kg) e sui veicoli pubblici (“External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy”, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011). Questo perché queste due categorie di mezzo di trasporto sono quelle più usate, quindi un incremento della domanda (e quindi della produzione di questi mezzi) si traduce in un diretto aumento degli incassi derivanti da questa tassazione.

Tuttavia, nel caso italiano questa voce può essere trascurata, visto il suo scarso impatto, riassunto nella tabella 4.12 (“External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy”, Grimaldi, Beria, Ponti, 2011):

<i>Vehicle category</i>	<i>Tax rate</i>
Buses and rural vehicles on road > 110 kw	1.76 € per kW
Cars < 53 kw, buses and rural vehicles on road < 110 kw, sidecars and rural vehicles.	150.81 € per vehicle
Motor vehicles and cars > 53 kw	3.51 € per kW
Motor vehicles for transportation of goods < 7 quintals	199.35 € per vehicle
Motor vehicles for transportation of goods >80 quintals	646.60 € per vehicle
Motor vehicles for transportation of goods 15-30 quintals	326.40 € per vehicle
Motor vehicles for transportation of goods 30-45 quintals	380.63 € per vehicle
Motor vehicles for transportation of goods 45-60 quintals	452.93 € per vehicle
Motor vehicles for transportation of goods 60-80 quintals	519.56 € per vehicle
Motor vehicles for transportation of goods 7-15 quintals	290.25 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of goods 20-50 quintals	356.36 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of goods < 20 quintals	265.98 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of goods >-50 quintals	452.93 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of people >40 seats	362.55 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of people 16-25 seats	253.58 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of people 26-40 seats	302.13 € per vehicle
Trailers vehicles for transportation of people < 16 seats	229.82 € per vehicle

Tabella 4.12 – Tasse sui veicoli

## Tariffe

La maggior parte delle autostrade italiane è “a tariffa”: i proventi da tariffa servono per coprire le spese di manutenzione e per finanziare i nuovi investimenti.

<i>Sector</i>	<i>Subsector</i>	<i>Toll</i> [€cent/km]
Passenger Cars	All	6.17
Light Duty Vehicles	All	6.31
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	8.59
	Rigid 14 - 20 t	12.79
	Articulated 28 - 34 t	15.02
Buses	All	8.59
Mopeds	<50 cm <sup>3</sup>	6.17
Motorcycles	4-stroke <250 cm <sup>3</sup>	6.17

Tabella 4.13 – Tariffe per le diverse categorie di veicolo

E’ interessante confrontare il livello di tariffe sopra presentato con i costi relativi alle infrastrutture stimati per le diverse categorie di veicoli: un’auto per passeggeri crea un costo per le infrastrutture di 0,08 €cent/km e paga 6,17 €cent/km di tariffa. Una macchina pesante crea un costo medio di 12,15€cent/km e paga 15,02 €cent/km di tariffa. Ciò significa che le tariffe sono simili, benché i costi causati alla comunità siano ben diversi.

## Conclusioni

Se viene considerata “internalizzazione” esclusivamente la politica di applicare (per “correggere” il comportamento dei consumatori) una tassazione diretta che permetta agli utenti di percepire in modo

diretto il costo che generano, allora questo tipo di tassazione non costituisce un'internalizzazione ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011). Tuttavia, non può essere negato che il comportamento dei viaggiatori sia influenzato dalla tassazione, anche se non è avvertita direttamente. Per questo, è possibile un confronto tra tasse e tariffe nei seguenti termini: se le tasse sono uguali ai costi esterni, gli utenti ridurranno il consumo esattamente nella misura con cui percepiranno l'intero costo sociale che generano ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011).

Di seguito, alcune tabelle che confrontano i costi generati con le internalizzazioni.

<i>€cent<sub>2010</sub>/vkm</i>	<i>Metropolitan</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
<i>Infrastructure O&amp;M</i>	0.08	0.08	0.08	0.08
<i>Accidents</i>	5.97	5.97	2.27	0.42
<i>Air Pollution</i>	1.16	0.48	0.15	0.14
<i>Noise</i>	0.98	0.98	0.01	0.01
<i>Climate change</i>	0.50	0.50	0.33	0.41
<i>Up- &amp; downstream effects</i>	0.98	0.97	0.67	0.68
<b>Marginal external costs</b>	<b>9.67</b>	<b>8.98</b>	<b>3.52</b>	<b>1.75</b>
<i>Fuel duty</i>	4.72	4.72	3.12	3.95
<i>VAT on fuel duty</i>	1.18	1.18	0.78	0.99
<i>Tolls</i>	0.00	0.00	0.00	6.17
<b>Marginal taxes</b>	<b>5.90</b>	<b>5.90</b>	<b>3.91</b>	<b>4.93</b>
<b>Marginal taxes + tolls</b>	<b>5.90</b>	<b>5.90</b>	<b>3.91</b>	<b>11.11</b>

Tabella 4.14 - Auto a Gasolio (<1.4 l, EURO III). Valori in €cent<sub>2010</sub>/km

<i>€cent<sub>2010</sub>/vkm</i>	<i>Metropolitan</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
<i>Infrastructure O&amp;M</i>	0.10	0.10	0.10	0.10
<i>Accidents</i>	5.97	5.97	2.27	0.42
<i>Air Pollution</i>	8.12	3.14	1.49	2.91
<i>Noise</i>	4.90	4.90	0.09	0.09
<i>Climate change</i>	0.67	0.67	0.48	0.82
<i>Up- &amp; downstream effects</i>	0.99	0.99	0.74	0.77
<b>Marginal external costs</b>	<b>20.75</b>	<b>15.77</b>	<b>5.17</b>	<b>5.11</b>
<i>Fuel duty</i>	4.15	4.15	2.97	5.10
<i>VAT on fuel duty</i>	1.04	1.04	0.74	1.28
<i>Tolls</i>	0.00	0.00	0.00	6.31
<b>Marginal taxes</b>	<b>5.19</b>	<b>5.19</b>	<b>3.72</b>	<b>6.38</b>
<b>Marginal taxes + tolls</b>	<b>5.19</b>	<b>5.19</b>	<b>3.72</b>	<b>12.69</b>

Tabella 4.15 - Veicoli pesanti (Diesel < 3,5 t, EURO III). Valori in €cent<sub>2010</sub>/km

<i>€cent<sub>2010</sub>/vkm</i>	<i>Metropolitan</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
<i>Infrastructure O&amp;M</i>	6.09	6.09	6.09	6.09
<i>Accidents</i>	15.20	15.20	3.83	0.42
<i>Air Pollution</i>	11.68	5.16	2.71	2.64
<i>Noise</i>	9.01	9.01	0.17	0.17
<i>Climate change</i>	0.93	0.93	0.73	0.89
<i>Up- &amp; downstream effects</i>	1.62	1.62	1.51	1.50
<b>Marginal external costs</b>	<b>44.54</b>	<b>38.02</b>	<b>15.04</b>	<b>11.71</b>
<i>Fuel duty</i>	5.84	5.84	4.54	5.56
<i>VAT on fuel duty</i>	1.46	1.46	1.13	1.39
<i>Tolls</i>	0.00	0.00	0.00	8.59
<b>Marginal taxes</b>	<b>7.30</b>	<b>7.30</b>	<b>5.67</b>	<b>6.95</b>
<b>Marginal taxes + tolls</b>	<b>7.30</b>	<b>7.30</b>	<b>5.67</b>	<b>15.54</b>

Tabella 4.16 - *Camion pesanti (< 7,5 t, EURO III). Valori in €cent<sub>2010</sub>/km*

<i>€cent<sub>2010</sub>/vkm</i>	<i>Metropolitan</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
<i>Infrastructure O&amp;M</i>	12.15	12.15	12.15	12.15
<i>Accidents</i>	15.20	15.20	3.83	0.42
<i>Air Pollution</i>	35.83	16.94	7.96	6.81
<i>Noise</i>	9.01	9.01	0.17	0.17
<i>Climate change</i>	3.20	3.20	2.03	1.78
<i>Up- &amp; downstream effects</i>	3.72	3.72	3.21	2.86
<b>Marginal external costs</b>	<b>79.12</b>	<b>60.23</b>	<b>29.35</b>	<b>24.19</b>
<i>Fuel duty</i>	20.05	20.05	12.68	11.10
<i>VAT on fuel duty</i>	5.01	5.01	3.17	2.77
<i>Tolls</i>	0.00	0.00	0.00	15.02
<b>Marginal taxes</b>	<b>25.06</b>	<b>25.06</b>	<b>15.85</b>	<b>13.87</b>
<b>Marginal taxes + tolls</b>	<b>25.06</b>	<b>25.06</b>	<b>15.85</b>	<b>28.89</b>

Tabella 4.17 - *Veicoli articolati (28-34 t, Euro III) . Valori in €cent<sub>2010</sub>/km*

I seguenti sei grafici rappresentano il livello di copertura dei costi esterni (per tutti i veicoli) garantito dalle tasse e dalle tariffe già presenti nei quattro contesti considerati (metropolitano, urbano, rurale ed autostradale). Gli ultimi due raffigurano casi particolari: il primo attua una comparazione tra le esternalità riscontrate nel contesto autostradale con le tasse sul carburante (senza considerare le tariffe e i costi legati alle infrastrutture), il secondo rappresenta la percezione dell'inquinamento atmosferico e dell'immissione di gas serra nel contesto metropolitano.

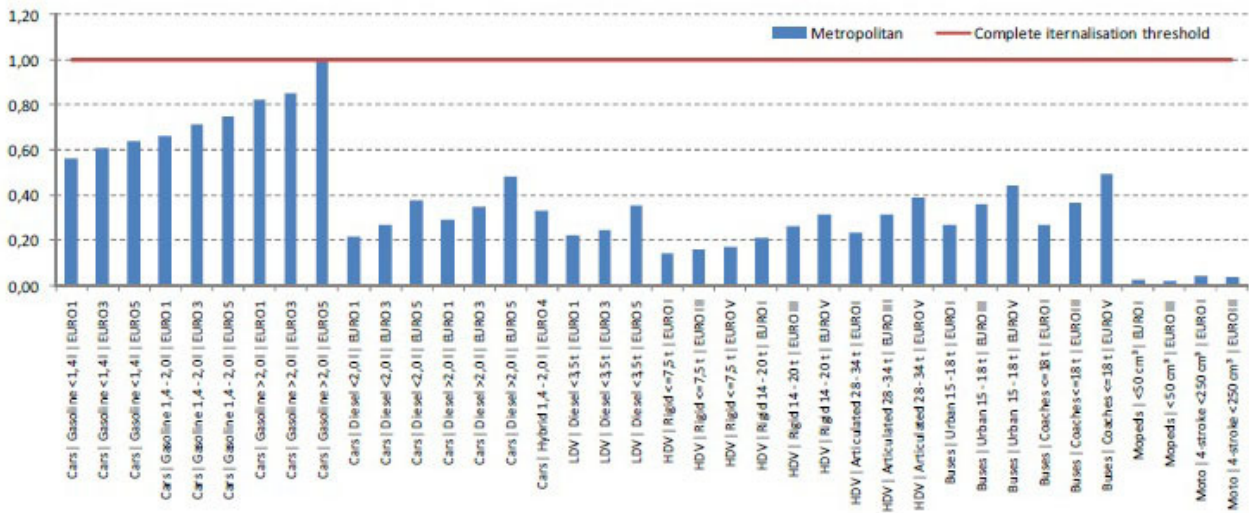


Grafico 4.1 - Costi esterni percepiti dai viaggiatori nel contesto metropolitano

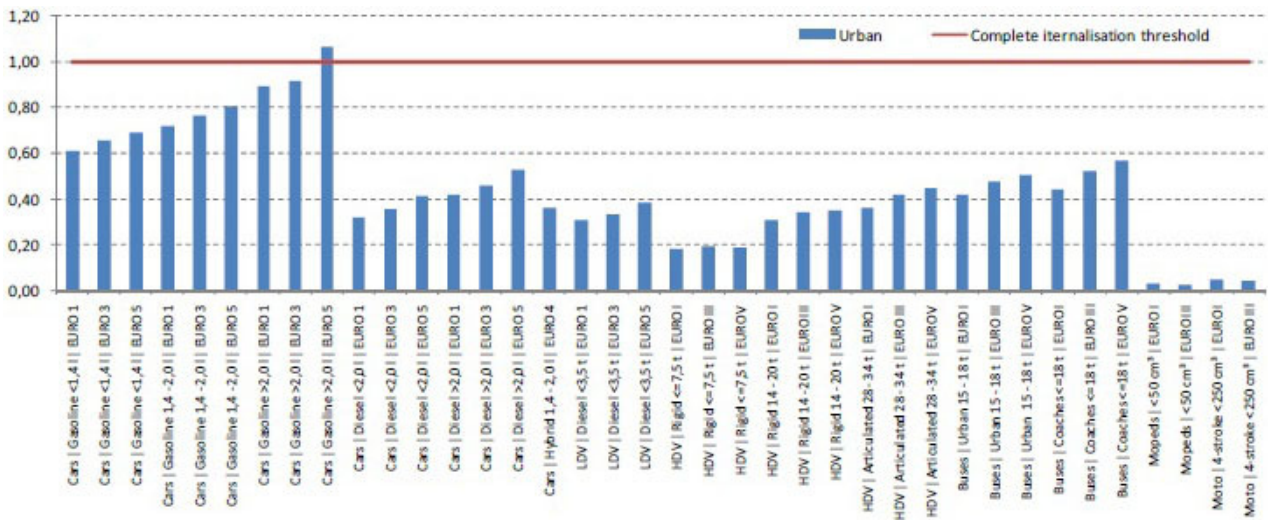


Grafico 4.2 - Costi percepiti dai viaggiatori nel contesto urbano

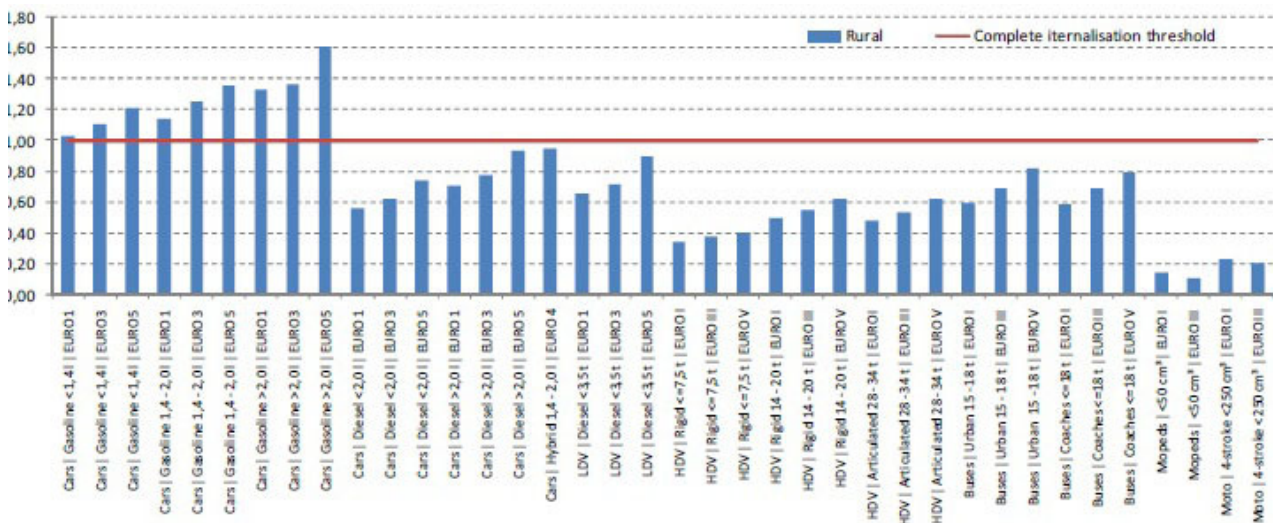


Grafico 4.3 - Costi percepiti dai viaggiatori in contesto rurale

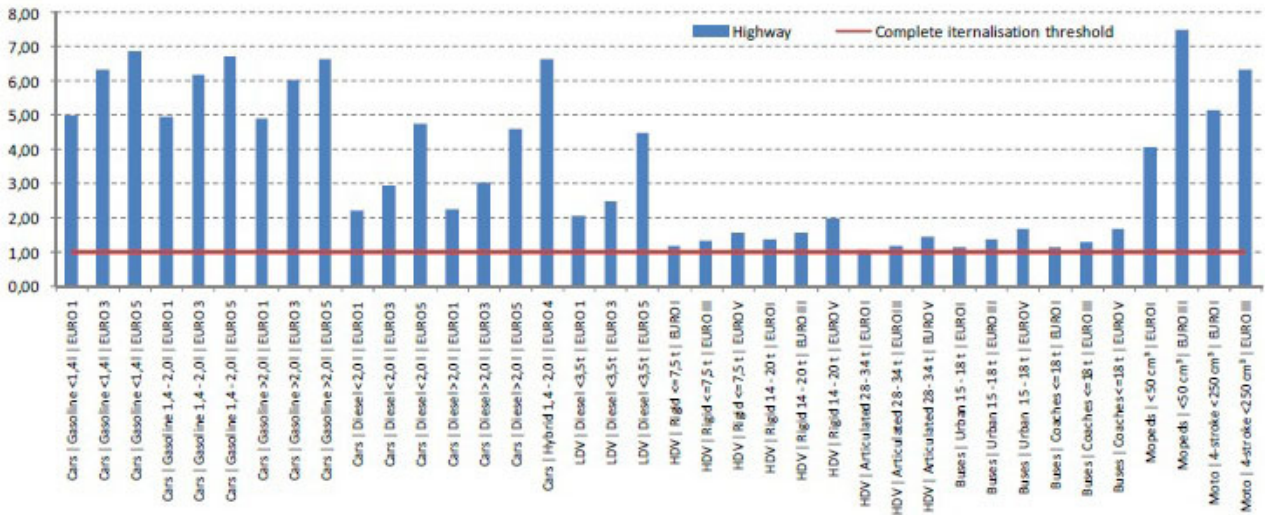


Grafico 4.4 - Costi percepiti dai viaggiatori in autostrada

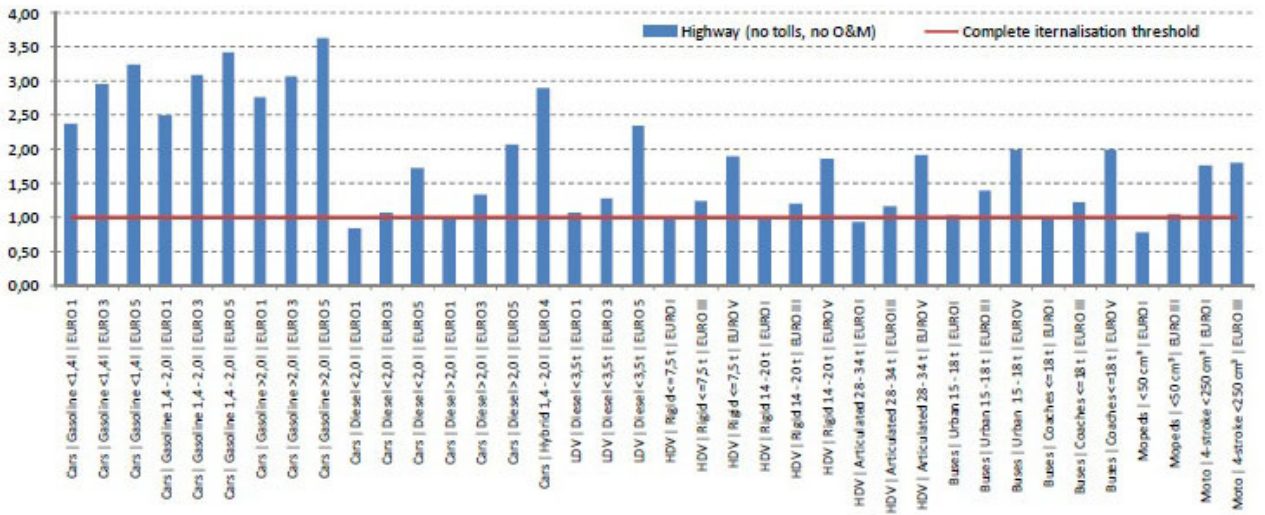


Grafico 4.5 - Livello di percezione dei costi esterni dai viaggiatori in autostrada senza considerare le tariffe e i costi legati alle infrastrutture



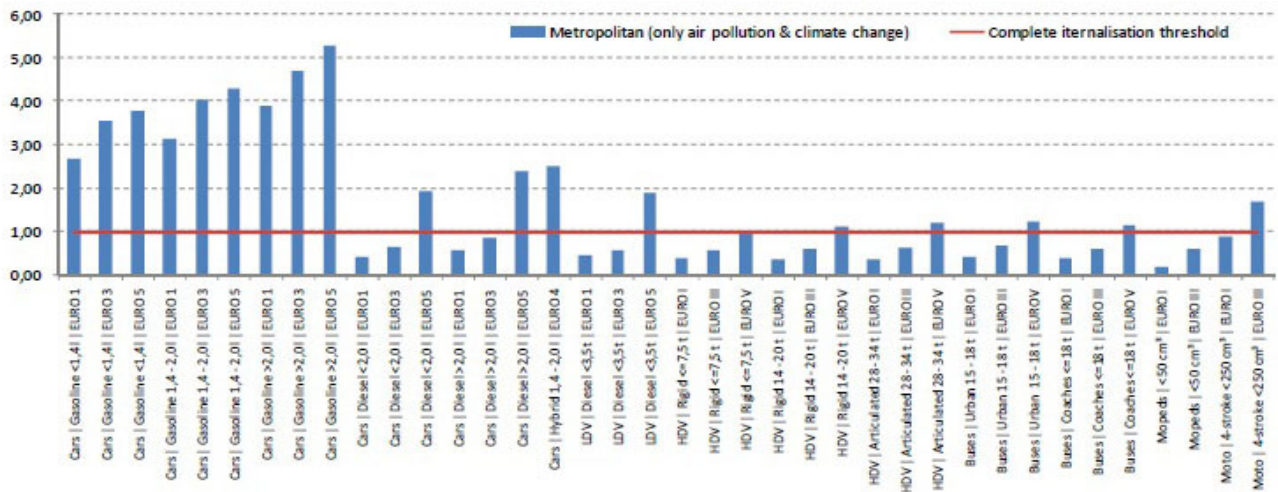


Grafico 4.6 - Livello di percezione dei costi esterni legati all'inquinamento atmosferico e all'immissione di gas serra in atmosfera dai viaggiatori in contesto metropolitano

Dalle figure si può notare che:

- 1) Le auto a gasolio internalizzano i costi meglio di tutte le altre categorie di veicolo, ad eccezione delle moto su autostrada. In particolare, le Euro 5 internalizzano larga parte dei costi provocati, e le Euro1 pagano più del 60% dei costi generati, anche in un contesto urbano.
- 2) Paradossalmente, le auto a gasolio più pesanti internalizzano meglio di quelle a più piccola taglia: questo perché sebbene alcuni costi aumentino con le dimensioni (cambiamenti climatici), altri non lo fanno (incidenti, rumore, infrastrutture) e altri ancora addirittura diminuiscono (inquinamento aria), mentre il consumo di benzina (e quindi il pagamento di tasse) aumenta più che proporzionalmente;
- 3) Tutte le altre categorie (diesel, LGVS, HDVs e moto) percepiscono solo tra il 20 ed il 60% dei costi esterni generati in un contesto urbano;
- 4) In generale, i veicoli che si muovono in un contesto urbano non percepiscono i costi che generano. Nei contesti rurali la situazione è migliore, ma anche qui i vecchi diesel, le grandi vetture e le moto pagano meno del dovuto;
- 5) Quando usano l'autostrada, tutte le vetture internalizzano i loro costi. Cioè è dovuto al fatto che in Italia le tariffe coprono l'intero investimento delle infrastrutture. E' quindi più corretto comparare i costi collettivi e le tasse senza considerare i costi legati alle infrastrutture e le tariffe. In questo caso (figura 4.5), si nota che i più recenti veicoli percepiscono completamente le esternalità generate, con i nuovi veicoli che in genere pagano di più;
- 6) le tasse sui combustibili, che si applicano al consumo di benzina, sono più adatte ad internalizzare solo le esternalità dovute al consumo di benzina, come l'inquinamento atmosferico e i cambiamenti climatici. La figura 4.6 mostra che le macchine a gasolio pagano più di quello che emettono (da 2,5 a 5 volte tanto). Tutte gli Euro 5 a diesel percepiscono circa 1 o 2 volte quello che emettono, ma tutti gli altri vecchi diesel e moto non percepiscono a sufficienza e generano sovraconsumi conseguenti costi. In questa prospettiva, pare che questi costi esterni dovranno essere pagati con altre misure di internalizzazione.

Il confronto tra le stime dei costi marginali esterni per il trasporto su strada in Italia e l'ammontare dei costi sostenuti in termini di tasse e tariffe fa emergere quanto e se le esternalità sono percepite dagli utenti. Anche se, come è stato detto in precedenza, formalmente non esiste una tassa che internalizza i costi, la tassazione presente genera comunque un cambiamento nei comportamenti degli utenti, che consumano di meno, eliminando così l'inefficienza.

Esclusa la congestione, i risultati mostrano che i passeggeri che fanno uso di gasolio pagano in forma di tasse una quota di esternalità sempre più alta degli altri veicoli. Nei contesti urbani (che sono quelli che maggiormente interessano nel presente lavoro) i costi esterni non sono internalizzati, ad eccezione delle auto a gasolio più recenti. Fuori dalle città, il livello di percezione è considerevolmente alto: in alcuni casi l'internalizzazione è completa, e a volte il livello di copertura dei costi è superiore al valore del costo stesso. Nel caso dei motocicli i costi esterni non sono internalizzati. Guardando alle autostrade italiane (caso che, si ripete, esula dagli scopi di questo lavoro, ma viene comunque riportato per offrire un termine di paragone), la situazione è diversa: le tariffe determinano la situazione per cui macchine e moto pagano 7 volte i costi che generano. I veicoli commerciali pagano invece da 1 a 2 volte il costo delle esternalità generate.

I numeri mostrano anche che le tasse sul combustibile e le tariffe non possono essere gli unici strumenti per far percepire i costi generati, perché è impossibile stabilire la "giusta" tassa che copra le esternalità in tutte le situazioni senza generare una tassazione eccessiva. Una situazione più efficiente è possibile solamente ricorrendo ad altri strumenti, come la road pricing. E la congestione, che, ricordiamo, è stata esclusa da questo studio ("External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", Grimaldi, Beria, Ponti, 2011) , può essere internalizzata solo con altri strumenti.

Ovviamente, la riforma dei prezzi non dovrebbe ridursi all'innalzamento delle tasse fino a far percepire i costi sociali, ma dovrebbe garantire l'equilibrio ottimo: un incremento marginale nelle tasse può generare un abbassamento dei costi marginali sociali (specie per la congestione), così che l'ottimo sociale sarà situato tra il gap compreso tra i costi sociali ed i costi percepiti.

# INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Per inquinamento atmosferico si intende ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali:

- 1) da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria;
- 2) da costituire pericolo, ovvero pregiudizio diretto o indiretto, per la salute dell'uomo;
- 3) da compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell'ambiente;
- 4) alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati.

In questo capitolo saranno esaminate le modalità con le quali le attività antropiche studiate nell'elaborato (trasporti e riscaldamento domestico) contribuiscono al fenomeno dell'inquinamento atmosferico, quantificando il loro impatto.

## Le emissioni da combustione

La combustione è un processo di ossidazione che libera calore di reazione del combustibile. Nel presente lavoro, essa interessa in quanto è il processo che sta alla base della produzione di energia meccanica per gli autoveicoli e nel riscaldamento domestico.

I prodotti della reazione di combustione completa di un combustibile puro sono unicamente  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ . Oltre a tali componenti, la combustione in realtà genera un insieme di sostanze gassose e particolate coinvolte nelle diverse scale dei problemi di alterazione della qualità dell'aria, la cui produzione è essenzialmente riconducibile a tre distinte motivazioni:

- 1) Il processo è in varia misura incompleto, con conseguenti presenze nei gas di monossido di carbonio, idrocarburi incombusti o parzialmente ossidati, particelle carboniose ed agglomerati di esse;
- 2) le condizioni operative innescano reazioni secondarie indesiderate che coinvolgono l'azoto atmosferico e che sono responsabili della produzione di  $\text{NO}_x$ ;
- 3) le impurezze e/o gli additivi contenuti in varia misura nei combustibili determinano emissioni di inquinanti direttamente associati alla loro presenza, quali  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , polveri inorganiche e gas acidi.

Le emissioni da combustione incompleta sono imputabili a carenze nell'ossidazione, sia in termini di quantità di aria utilizzata nel processo che di temperature e tempi di permanenza delle miscele inadeguati ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011).

Per quanto riguarda le reazioni secondarie, esse, come già detto, riguardano principalmente l'azoto. Nei gas di combustione, infatti, sono sempre presenti ossidi di azoto, principalmente NO con qualche percentuale di NO<sub>2</sub>, anche se, come componenti del combustibile, non risultano quantitativi apprezzabili di azoto. A tale presenza contribuiscono tre distinti meccanismi:

- 1) produzione termica da azoto atmosferico (in cui avviene l'ossidazione dell'azoto atmosferico in presenza di temperature molto alte, oltre i 1.600 °C);
- 2) produzione da azoto del combustibile, riconducibile alla presenza di componenti che possono essere considerati impurezze del combustibile stesso;
- 3) la produzione da "prompt NO", che non è complessivamente rilevante per le normali combustioni, si sviluppa in miscele a basso tenore di aria e senza importanti vincoli di natura cinetica, e vede il coinvolgimento di radicali dell'idrocarburo che attaccano l'azoto atmosferico.

Le emissioni da impurezza del combustibile riguardano le attività sia civili che industriali sono da ricondursi a sostanze come azoto, zolfo e ceneri, la cui presenza è dipendente dal grado di raffinazione del combustibile ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011) .

### **Le emissioni da fonti mobili**

Le attività di motori a combustione utilizzati dai veicoli terrestri determinano le emissioni atmosferiche da sorgenti mobili. Il traffico autoveicolare terrestre produce di norma tre distinte tipologie di emissioni: le emissioni allo scarico, le evaporative e quelle derivanti dal consumo di materiali (pneumatici e freni). Emissioni indirette del traffico possono essere considerate le polveri risospese e quelle derivanti dal consumo di manto stradale ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011) .

Le prime, quantitativamente più rilevanti, sono una diretta conseguenza del processo di combustione e, come tali, risultano dipendenti, in maniera molto complessa e di difficile valutazione pratica, da una serie di fattori legati al tipo di veicolo, al ciclo di funzionamento ed alla configurazione del motore, al suo regime di utilizzo e stato di usura ed infine al carburante utilizzato. Le presenze più consistenti (macroinquinanti) sono quelle tipiche della combustione (monossido di carbonio, CO, ossidi di azoto, NO<sub>x</sub>, composti organici volatili, COV, materiale particolato, anidride solforosa SO<sub>2</sub>, precursori della formazione di ozono e delle piogge acide). La caratterizzazione chimica dei COV e del particolato evidenzia sostanze d'interesse per la particolare tossicità e, rispettivamente, nei COV benzene, 1-3-butadiene, aldeidi e nel particolato, di norma molto fine e di granulometria inferiore ai 10 μm (PM10), gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici). Le emissioni evaporative si giustificano con la volatilità del combustibile e risultano così costituite unicamente dalla frazione leggera degli idrocarburi presenti nel carburante. Esse si verificano sia durante la marcia che nelle soste a motore spento e mostrano, oltre ad un'ovvia correlazione con il tipo di combustibile e con le condizioni ambientali esterne, dipendenze piuttosto complesse anche con la configurazione del motore ed il suo regime di utilizzazione ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011) .

### **Emissioni allo scarico**

I principali inquinanti presenti allo scarico dei motori a combustione interna sono il monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>, miscela di NO e NO<sub>2</sub>) e, particolarmente per i motori diesel, anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) e materiale particolato, quest'ultimo di granulometria inferiore a 10

mm (PM<sub>10</sub>), costituito in prevalenza da particelle carboniose e da idrocarburi pesanti adsorbiti. L'emissione di CO, COV ed NO<sub>x</sub> è conseguenza diretta del processo di combustione e delle condizioni in cui esso si sviluppa. L'equilibrio termodinamico delle numerose reazioni coinvolte nell'ossidazione stechiometrica con aria del carburante prevede che, nelle condizioni di temperatura e pressione allo scarico del motore, i gas siano costituiti unicamente da CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O, prodotti dalla combustione, e da N<sub>2</sub> ed altri componenti inerti contenuti nell'aria comburente. Tuttavia, lo studio della combustione all'interno dei cilindri di un motore mette in evidenza come, nelle distinte fasi che ne caratterizzano il ciclo di funzionamento (aspirazione, compressione, accensione ed espansione, scarico), si verifichino variazioni locali di temperatura molto intense, con velocità tali da non garantire tempi di permanenza sufficienti al raggiungimento dell'equilibrio. Anche se possibile dal punto di vista termodinamico, la completezza della combustione non viene in pratica mai raggiunta all'interno del motore per motivi di ordine cinetico: la composizione delle miscele gassose prodotte risulta quindi dal "congelamento" degli equilibri chimici a temperature superiori a quelle di scarico ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011).

All'incompletezza delle reazioni attivate dal processo di combustione, dovuta al brusco raffreddamento dei gas durante l'espansione e lo scarico della miscela dai cilindri, sono da imputarsi le emissioni di CO e di idrocarburi, tipici prodotti di ossidazioni solo parziali ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011).

Per gli idrocarburi incombusti, la cui ossidazione procede piuttosto rapidamente entro ampi intervalli di temperatura, secondo meccanismi di reazione a catena che coinvolgono atomi e radicali liberi estremamente attivi, l'ipotesi del blocco cinetico non è tuttavia sufficiente a spiegarne da sola l'emissione. L'arresto della combustione da cui essi traggono la loro origine è prevalentemente da attribuirsi agli intensi gradienti di temperatura che si verificano in zone di spessore limitato lungo le pareti del cilindro o all'interno di microfessure presenti sulla parete stessa, in corrispondenza delle quali si verificano brusche riduzioni locali della temperatura ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011).

Un ulteriore fattore legato alle modalità di combustione nel motore che esercita una notevole influenza sulle emissioni è costituito dal rapporto A/F fra l'aria ed il carburante alimentato nei cilindri. In condizioni stechiometriche, tale rapporto vale, in termini di peso e per i carburanti di più comune utilizzo (benzina e gasolio), tra 14,5 e 15: valori inferiori danno luogo ad un eccesso di carburante rispetto all'aria (miscele ricche) mentre valori superiori indicano un eccesso d'aria rispetto a quella richiesta dalla stechiometria della combustione (miscele povere). La carenza di ossigeno che si verifica nelle miscele ricche favorisce la presenza di CO ed idrocarburi, prodotti di incompleta combustione, mentre riduce quella degli NO<sub>x</sub>, la cui formazione è strettamente dipendente dalla disponibilità dell'ossigeno stesso. Per miscele prossime ai rapporti stechiometrici, le emissioni di CO ed idrocarburi si riducono sensibilmente mentre gli NO<sub>x</sub> raggiungono le massime concentrazioni, in virtù della presenza di O<sub>2</sub> e delle alte temperature caratteristiche della combustione in tali condizioni. Per miscele povere, l'ampia disponibilità di O<sub>2</sub> minimizza le emissioni di CO e quelle di idrocarburi che, tuttavia, presentano un successivo incremento per miscele estremamente povere, in seguito alle difficoltà di combustione per la massiccia presenza di aria; le concentrazioni di NO<sub>x</sub> subiscono invece una costante riduzione, in virtù della progressiva diminuzione di temperatura con l'impovertimento della miscela, legata all'effetto diluente dell'aria in eccesso ("Emissioni da combustioni mobili", Giugliano, 2011).

Contrariamente al caso dei composti sin qui considerati, la presenza o meno di SO<sub>2</sub> e particolato nelle emissioni dei motori risulta fortemente dipendente dal tipo di carburante utilizzato. L'SO<sub>2</sub> deriva totalmente dall'ossidazione dello zolfo contenuto nel carburante, mentre il materiale particolato è legato

alle difficoltà di combustione dei carburanti contenenti frazioni idrocarburiche pesanti: ambedue i composti sono pertanto caratteristici dei gas di scarico dei motori alimentati a gasolio, e risultano praticamente assenti in quelli a benzina (“Emissioni da combustioni mobili”, Giugliano, 2011).

L'entità e le caratteristiche qualitative delle emissioni dagli autoveicoli risultano pertanto determinate dalle modalità di combustione e dal tipo di carburante, diverso a seconda del tipo di motore utilizzato: benzina nei motori ad accensione comandata (ciclo Otto) o gasolio in quelli ad accensione spontanea (ciclo Diesel). I due tipi di motore presentano anche condizioni di combustione assai diverse, che risultano inoltre variabili con il regime di funzionamento del motore stesso, con la sua età e con il suo stato di manutenzione. I principali fattori che intervengono nel definire l'emissione allo scarico possono così riassumersi nei seguenti: tipo di motorizzazione; regime di funzionamento del motore (velocità, accelerazione, folle, condizioni di carico, percorrenze a freddo); età e manutenzione del veicolo (“Emissioni da combustioni mobili”, Giugliano, 2011).

## Caratteristiche dei principali inquinanti atmosferici

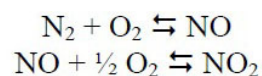
### Monossido di carbonio (CO)

L'ossido di carbonio è un gas inodore, incolore ed insapore e costituisce, dopo la CO<sub>2</sub>, l'inquinante convenzionale quantitativamente più rilevante. Le emissioni antropogeniche sono pressoché totalmente associate all'incompletezza delle reazioni di ossidazione dei combustibili fossili nelle attività di produzione di energia, con il traffico veicolare che rappresenta la fonte di gran lunga più importante. La produzione naturale di CO, circa 25 volte superiore a quella antropogenica, deriva in larga misura dall'ossidazione del metano nella troposfera. L'effetto dannoso sulla salute umana è di tipo acuto, e risulta dalla sua elevatissima affinità con l'emoglobina (circa 200-300 volte superiore a quella dell'ossigeno), con conseguente formazione di carbossiemoglobina che, riducendo il normale apporto di ossigeno, determina deficienze funzionali che vanno dall'alterazione della funzione cardiaca e polmonare alla perdita di coscienza ed alla morte (“Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione”, Cernuschi, 2011).

### Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>)

La terminologia NO<sub>x</sub> indica la miscela delle due specie ossidate normalmente presenti nelle emissioni antropogeniche, costituite dal monossido (NO) e dal biossido di azoto (NO<sub>2</sub>). Le fonti di emissione largamente dominanti sono rappresentate, come per il CO, dai processi di combustione, e derivano dal contributo di due principali percorsi di produzione:

- 1) Termico: costituito dall'ossidazione ad alta temperatura dell'azoto atmosferico presente nell'aria di combustione, secondo il seguente meccanismo semplificato di reazione:



La produzione di NO<sub>x</sub> cresce molto rapidamente per temperature superiori a circa 1.200°C e risulta altresì proporzionale al tenore di ossigeno presente in camera di combustione, e quindi all'eccesso

d'aria utilizzato. La cinetica delle reazioni è inoltre tale per cui la presenza quantitativa dell'NO è largamente prevalente rispetto a quella dell'NO<sub>2</sub>, con percentuali in volume superiori all'80-90%.

- 2) Da combustibile: ossidazione dell'azoto organico contenuto nel combustibile di partenza. Il contributo di questo percorso, direttamente proporzionale al contenuto di azoto del combustibile, presenta una certa consistenza per oli combustibili e carbone (azoto sino al 3% in peso) mentre è del tutto trascurabile per i combustibili gassosi. La produzione è sostanzialmente indipendente dalla temperatura, con un ruolo sulle emissioni complessive di NO<sub>x</sub> che, nelle usuali condizioni operative della combustione, è meno significativo di quello attribuibile al meccanismo termico.

Gli NO<sub>x</sub> presenti in atmosfera partecipano attivamente a cicli fotochimici di produzione di inquinanti secondari, costituendo importanti precursori della formazione di O<sub>3</sub> troposferico e, più in generale, dello smog fotochimico. Gli stessi cicli sono inoltre tali da provvedere alla trasformazione delle consistenti frazioni di NO presenti all'emissione di NO<sub>2</sub> è inoltre coinvolto, tramite la trasformazione atmosferica in acido nitrico (HNO<sub>3</sub>), nel fenomeno di acidificazione delle precipitazioni e nella formazione di particolato fine secondario, derivante dalla successiva conversione in nitrati ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

L'effetto diretto sulla salute è limitato al solo NO<sub>2</sub>, a cui sono associate difficoltà respiratorie ed alterazioni del tessuto polmonare. Al ruolo di precursore nei percorsi secondari di formazione sono inoltre associabili anche effetti indiretti derivanti dallo smog fotochimico che, in virtù della presenza di composti fortemente ossidanti (O<sub>3</sub>) e specie organiche reattive, determina disfunzioni ed irritazioni all'apparato respiratorio e delle mucose olfattive e visive. L'ozono è inoltre responsabile di danni alla vegetazione ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

### **Composti Organici Volatili (COV)**

L'acronimo COV rappresenta l'insieme delle componenti organiche presenti in atmosfera, costituito da uno spettro molto ampio di sostanze caratterizzate da una tensione di vapore che, nelle normali condizioni ambientali, ne determina una prevalente presenza in fase gassosa. Le principali fonti di emissione sono costituite dal traffico veicolare (prodotti dell'incompletezza della combustione, volatilizzazione diretta dei carburanti), dalle attività industriali e commerciali di finitura superficiale (evaporazione di solventi) e dall'estrazione, raffinazione e distribuzione dei prodotti petroliferi (gas naturali, combustibili di varia natura). Nelle aree rurali, un contributo significativo può anche derivare dalle emissioni naturali di componenti organiche particolarmente reattive (terpeni, isopreni) prodotte da alcune specie vegetali. Gli effetti sulla salute, in linea con l'ampia varietà di specie organiche presenti, comprendono tanto affezioni di entità relativamente lieve (disfunzioni dell'apparato respiratorio, irritazione delle mucose) che fenomeni di potenziale tossicità, sia di tipo non cancerogeno che cancerogeno, frequentemente associati ad alcune famiglie di composti (aromatici, policromatici, derivati alogenati).

La specie organica maggiormente presente in atmosfera è il metano (CH<sub>4</sub>), con livelli di concentrazione compresi tra 1 e 6 ppm. Di natura sostanzialmente inerte, non presenta effetti significativi sulla salute né particolare reattività, ma è uno dei principali responsabili dei fenomeni globali di cambiamento climatico ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011) .

## **Gas serra: anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>)**

I gas serra sono gas normalmente presenti in natura che, in virtù della loro consistente assorbanza nei confronti della radiazione infrarossa ad onda lunga, interferiscono nella dissipazione della radiazione infrarossa terrestre, comportando l'accumulo di energia termica in atmosfera e quindi l'innalzamento della temperatura superficiale (" Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

Se la concentrazione di tali gas aumenta, per effetto di attività antropiche, il fenomeno dell'effetto serra subisce alterazioni non naturali, comportando il cosiddetto surriscaldamento globale. Tra i gas serra che hanno le caratteristiche di essere emessi dalle attività di trasporto troviamo l'anidride carbonica il metano ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

L'anidride carbonica (che è uno dei prodotti finali delle reazioni di combustione) fornisce il contributo maggiore agli effetti del surriscaldamento globale, pari a circa il 64% della forzante radiativa ad essi corrispondente. Tale importanza deriva dal notevole incremento che ne caratterizza la concentrazione media in atmosfera, cresciuta da circa 280 ppm all'epoca preindustriale sino ai livelli attuali, collocati intorno a 370 ppm ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

L'incremento delle concentrazioni osservato nell'ultimo secolo è imputabile alle perturbazioni su tali processi naturali indotte dalle attività antropogeniche, derivanti dalle emissioni dirette da processi di combustione ed industriali (produzione di cemento) e da quelle indirette provocate dal mancato assorbimento fotosintetico conseguente ai processi di deforestazione ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011) .

Le stime più recenti in proposito (metà degli anni '80) quantificano in circa  $5,4 \cdot 10^9$  ton in termini di carbonio (5,3 da combustione e 0,1 da produzione di cemento) le immissioni dirette ed in  $1,7 \cdot 10^9$  ton di carbonio il deficit di assimilazione foto sintetica, a fronte di una rimozione complessiva pari a  $3,8 \cdot 10^9$  ton di carbonio ( $1,9 \cdot 10^9$  da fotosintesi terrestre ed  $1,9 \cdot 10^9$  da fotosintesi e dissoluzione negli oceani): ne deriva uno squilibrio di circa  $3,3 \cdot 10^9$  ton di CO<sub>2</sub> come carbonio che, emesse direttamente in atmosfera da attività antropiche, non vengono rimosse, permanendo per tempi molto lunghi ed indicativamente compresi tra 50 e 200 anni. L'importanza del contributo della CO<sub>2</sub> sulla forzante radiativa è pertanto attribuibile all'incremento nelle emissioni di origine antropica, caratterizzate da una crescita di circa  $0,2 \cdot 10^9$  ton C/ann in epoca preindustriale sino ai livelli attuali di  $6 \cdot 10^9$  ton C/anno, con un andamento pressoché lineare negli ultimi 50 anni, come mostrato in figura 5.1:



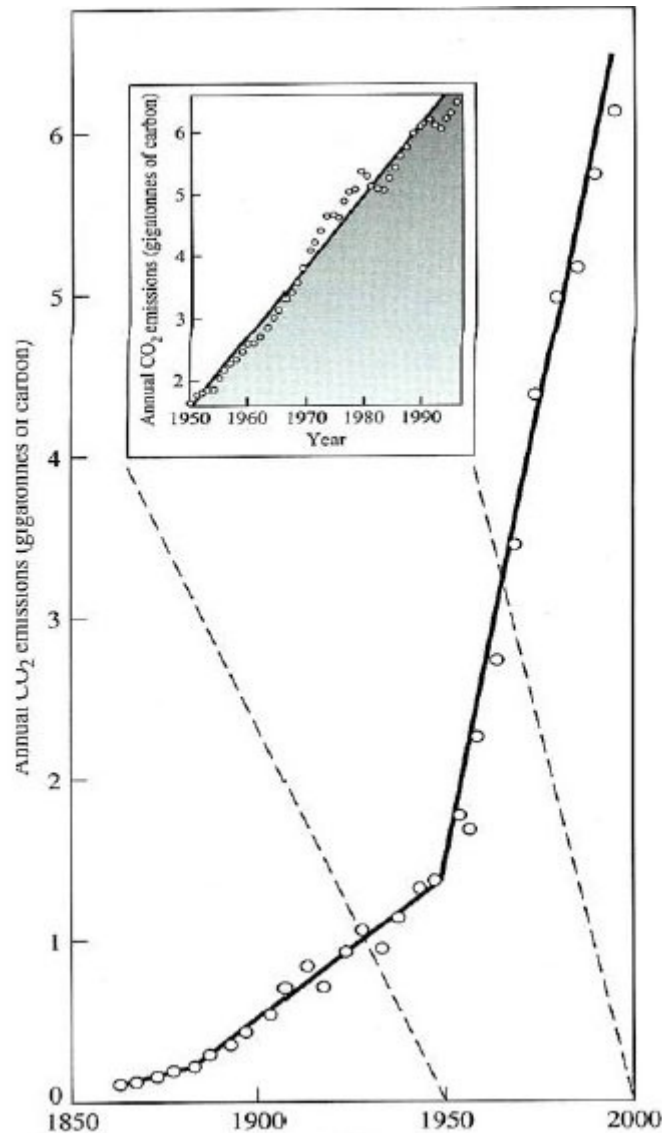


Grafico 5.1 – Andamento dell'emissione di CO<sub>2</sub> dal 1850 al 2000

Le emissioni sono largamente associate alla produzione di energia, che rappresenta oltre l'80% del contributo antropogenico complessivo: la frazione residua è prevalentemente associata alla deforestazione (17%), con la produzione di cemento responsabile del restante 3%.

La presenza del metano (CH<sub>4</sub>) è responsabile del 19% circa della forzante radiante associata al surriscaldamento globale. Come nel caso della CO<sub>2</sub>, la sua concentrazione media in atmosfera, attestata intorno a 0,7 ppm sino all'epoca preindustriale, ha subito un costante incremento, portandosi agli attuali livelli di circa 1,7 ppm. Le principali fonti di emissione del gas sono essenzialmente legate a processi di conversione biologica di sostanza organica di origine vegetale che, in condizioni di limitata aerazione tipiche delle zone umide (paludi, marcite, acquitrini), avvengono per via anaerobica, con produzione di cataboliti finali gassosi costituiti per circa 2/3 da CH<sub>4</sub> e per 1/3 da CO<sub>2</sub>; l'altra fonte significativa trae origine dal metabolismo dei ruminanti, come risultato della digestione del materiale celluloso, e dagli incendi forestali che, in condizioni di combustione incompleta, ne producono quantitativi non trascurabili ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

Le sorgenti naturali sono responsabili del 30% circa del complesso emissivo attuale, con il rimanente 70% attribuibile all'attività antropica: circa la metà del contributo deriva da esigenze legate alla produzione di alimenti (allevamenti di bestiame, coltivazione di riso, combustioni incontrollate di biomasse vegetali per la conversione di suoli in terreni agricoli o adibiti al pascolo), mentre il 25% proviene dall'estrazione, distribuzione ed utilizzo di combustibili fossili a fini energetici ed una frazione non trascurabile è associata allo smaltimento di rifiuti in discariche ed al trattamento delle acque di scarico civili. Le emissioni di origine antropica, attualmente stimate in circa  $0,4 \cdot 10^9$  ton / anno, presentano un andamento temporale molto simile a quello della  $CO_2$ , con un incremento lineare dal dopoguerra ad oggi, come mostrato in figura 5.2.

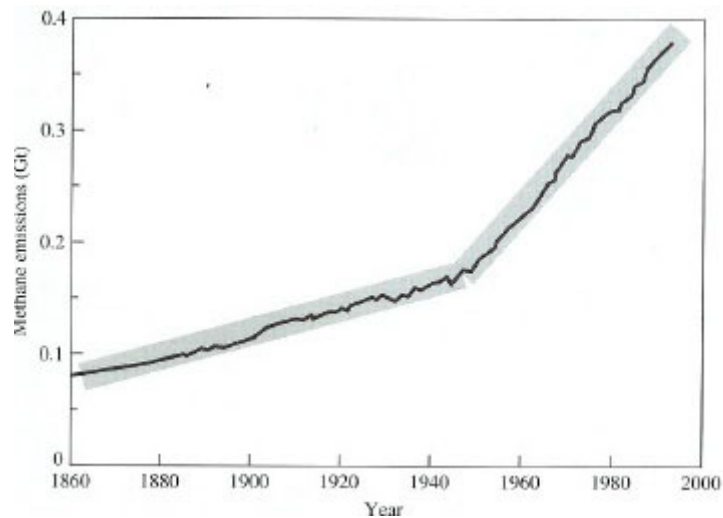
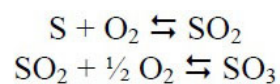


Grafico 5.2 – Andamento delle emissioni di  $CH_4$  dal 1860 al 2000

### Ossidi di Zolfo ( $SO_x$ )

Gli ossidi di zolfo ( $SO_x$ ) derivano pressoché totalmente dalla combustione che, a seguito dell'ossidazione dello zolfo contenuto nel combustibile, produce emissioni contenenti anidride solforosa ( $SO_2$ ) e solforico ( $SO_3$ ):



Come già nel caso degli  $NO_x$ , le caratteristiche termodinamiche e cinetiche delle reazioni sono tali per cui l' $SO_2$  è largamente prevalente rispetto all' $SO_3$ . L'ossidazione ad  $SO_3$  e la successiva formazione di acido solforico ( $H_2SO_4$ ) che avvengono direttamente in atmosfera, attraverso complessi meccanismi fotochimici, rendono l' $SO_2$  il principale responsabile, con gli  $NO_x$ , dell'acidificazione delle precipitazioni, determinandone altresì un ruolo non trascurabile nella formazione di particolato secondario, derivante dalla successiva trasformazione in solfati ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011) .

I danni alla salute comprendono effetti acuti (disfunzioni a carico dell'apparato respiratorio, irritazioni al tratto respiratorio ed alle mucose) e di tipo cronico, associati all'esposizione combinata con livelli elevati di particolato ed in grado di indurre un incremento nell'incidenza di bronchiti ed affezioni polmonari, soprattutto in gruppi a rischio (bambini, anziani). L' $SO_2$  presenta altresì effetti negativi sulla vegetazione

forestale, inibendone la crescita (“Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione”, Cernuschi, 2011).

### **Materiale particolato**

Il particolato atmosferico è costituito da una miscela di particelle solide o liquide di forma e composizione assai diversificate, con uno spettro dimensionale indicativamente compreso tra 0,005  $\mu$  (aggregati molecolari) e 100  $\mu$  (polveri grossolane). Contrariamente al caso degli inquinanti gassosi, gli effetti del particolato sulla qualità dell’aria dipendono, oltre che dai livelli di concentrazione, anche dalle sue dimensioni: poiché le singole particella hanno forme irregolari, la caratterizzazione granulometrica fa normalmente riferimento al diametro aerodinamico, definito come il diametro di una particella sferica che ha la stessa velocità di sedimentazione (“Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione”, Cernuschi, 2011).

Le frazioni di maggior interesse dal punto di vista ambientale sono quelle con diametri aerodinamici compresi tra 0,1  $\mu$  e 10  $\mu$ : polveri di dimensioni inferiori a tale intervallo tendono infatti a coagularsi con una certa facilità in aggregati più grandi, per azione degli intensi moti Browniani che le caratterizzano, mentre quelle di dimensioni superiori hanno velocità di sedimentazione che ne determinano tempi di permanenza atmosferici relativamente ridotti (“Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione”, Cernuschi, 2011).

L’origine di particolato atmosferico di fondo è in gran parte attribuibile a processi naturali di erosione eolica e sollevamento di materiale dal suolo, che risultano nella produzione di frazioni granulometriche grossolane (> 10  $\mu$ ). Le attività antropogeniche di combustione ed industriali ed il traffico veicolare sono responsabili dei fenomeni di concentrazione locale, con un contributo emissivo prevalentemente associato alle frazioni fini (< 10  $\mu$ ), mentre per il particolato ultrafine (< 1  $\mu$ ) la formazione secondaria da processi fotochimici in atmosfera assume un ruolo di significativa importanza (“Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione”, Cernuschi, 2011).

Gli effetti sulla salute sono associati tanto alle funzioni respiratorie, acutizzate dalla sinergia con elevate presenze di SO<sub>2</sub>, che ad effetti cronici più gravi, con incrementi di morbilità e mortalità associati in particolare alle frazioni fini. Questi ultimi sono da attribuirsi alle differenze che caratterizzano la capacità di penetrazione delle polveri nell’apparato respiratorio in funzione delle dimensioni. Particelle superiori a circa 10  $\mu$  vengono infatti trattenute efficacemente dal tratto nasofaringeo per azione delle mucose e degli organi ciliari, mentre quelle di dimensioni inferiori raggiungono le vie respiratorie profonde, depositandosi negli alveoli polmonari e nei bronchi con un’efficienza massima per particelle comprese tra circa 0,5  $\mu$  e 5  $\mu$  che presentano, così, maggiori possibilità di esercitare l’effetto dannoso. La nocività è altresì potenziata dalle specie tossiche veicolate dalle frazioni più fini che, a seguito di fenomeni di condensazione superficiale, tendono a concentrarsi sulle polveri di dimensioni più ridotte, caratterizzate da rapporti superficie/volume più elevati (per un corpo solido di qualunque forma, il rapporto è infatti verosimilmente proporzionale al diametro). Tra le componenti tossiche generalmente associate al particolato fine in aree urbane sono comprese alcune specie cancerogene associate al particolato fine in aree urbane sono comprese alcune specie cancerogene di natura organica (idrocarburi policiclici aromatici) ed inorganica (metalli pesanti quali As e Cd). Il particolato fine possiede in pratica la concomitante possibilità di interferire molto efficacemente con il sistema respiratorio e di rilasciare con facilità sostanze tossiche concentrate

sulla sua superficie ("Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", Cernuschi, 2011).

### Dati Regione Lombardia

Di seguito sono riportati i dati (<http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>, 2008) che permettono di stabilire quanto incide il contributo del trasporto su strada all'immissione di inquinanti sul territorio della Regione Lombardia.

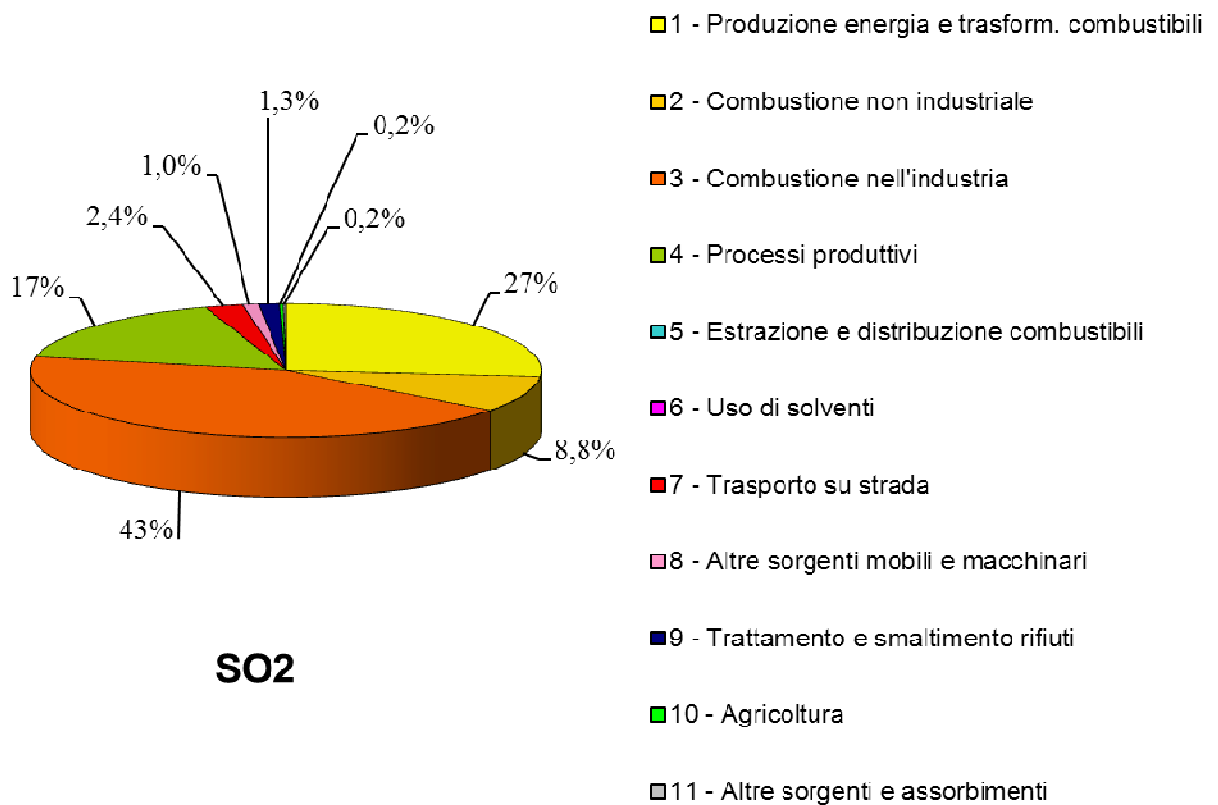
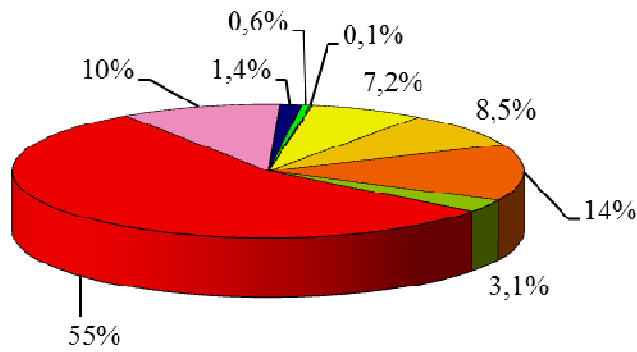


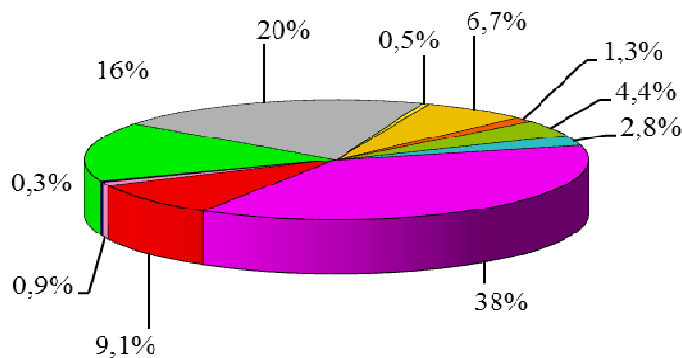
Grafico 5.3 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di SO<sub>2</sub> in Regione Lombardia



### NOx

- 1 - Produzione energia e trasform. combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura
- 11 - Altre sorgenti e assorbimenti

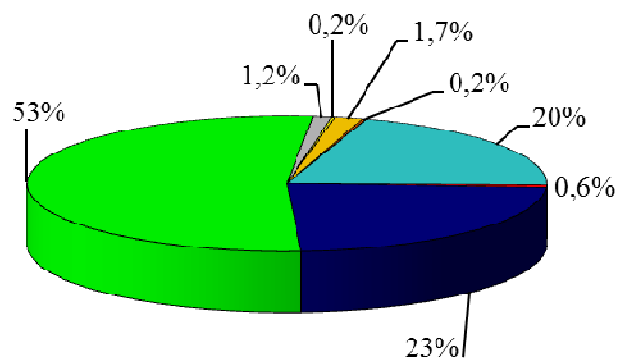
Grafico 5.4 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di NO<sub>x</sub> in Regione Lombardia



### COV

- 1 - Produzione energia e trasform. combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura
- 11 - Altre sorgenti e assorbimenti

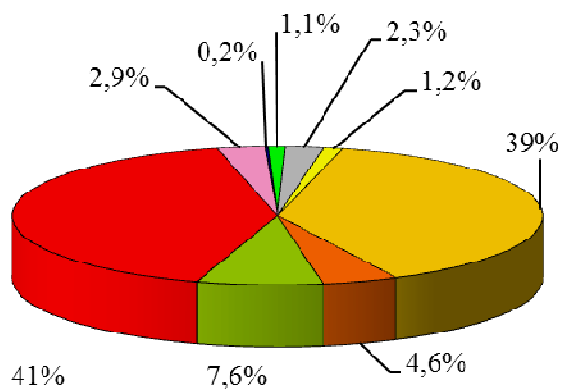
Grafico 5.5 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di COV in Regione Lombardia



### CH4

- 1 - Produzione energia e trasform. combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura
- 11 - Altre sorgenti e assorbimenti

Grafico 5.6 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CH<sub>4</sub> in Regione Lombardia



### CO

- 1 - Produzione energia e trasform. combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura
- 11 - Altre sorgenti e assorbimenti

Grafico 5.7 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO in Regione Lombardia

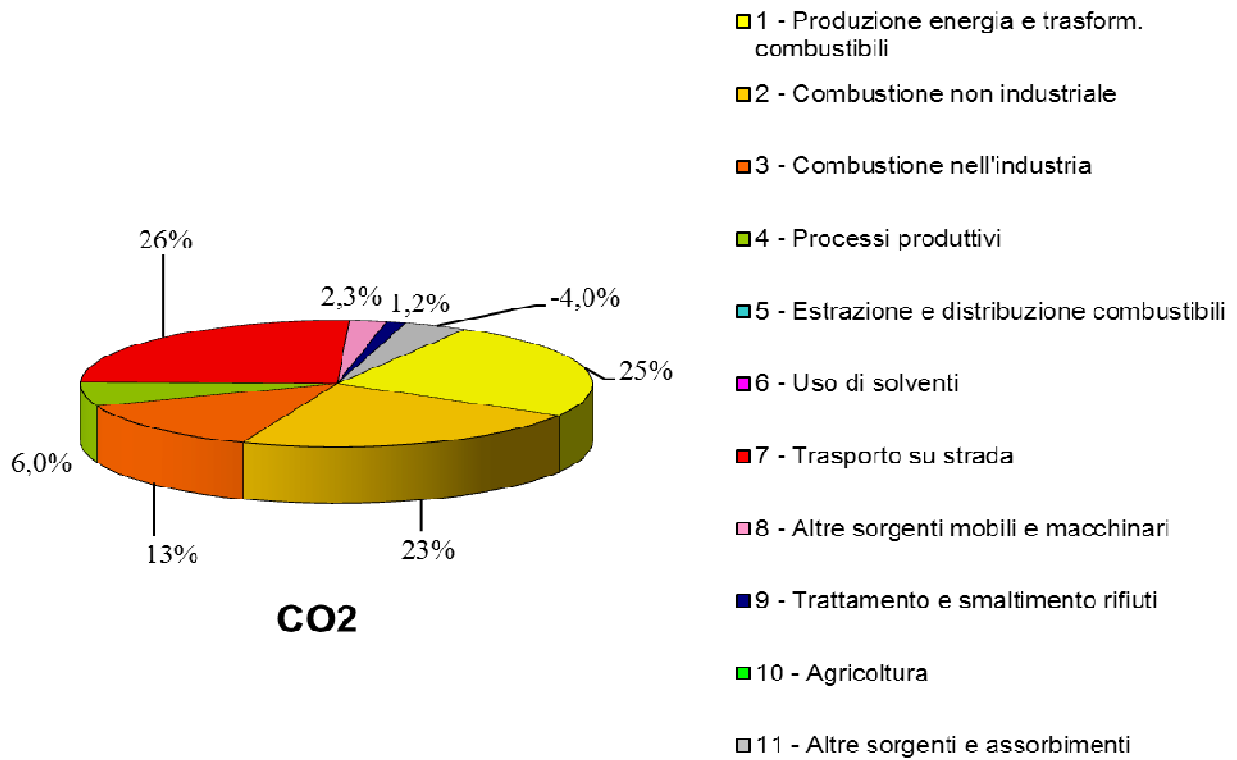


Grafico 5.8 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO<sub>2</sub> in Regione Lombardia

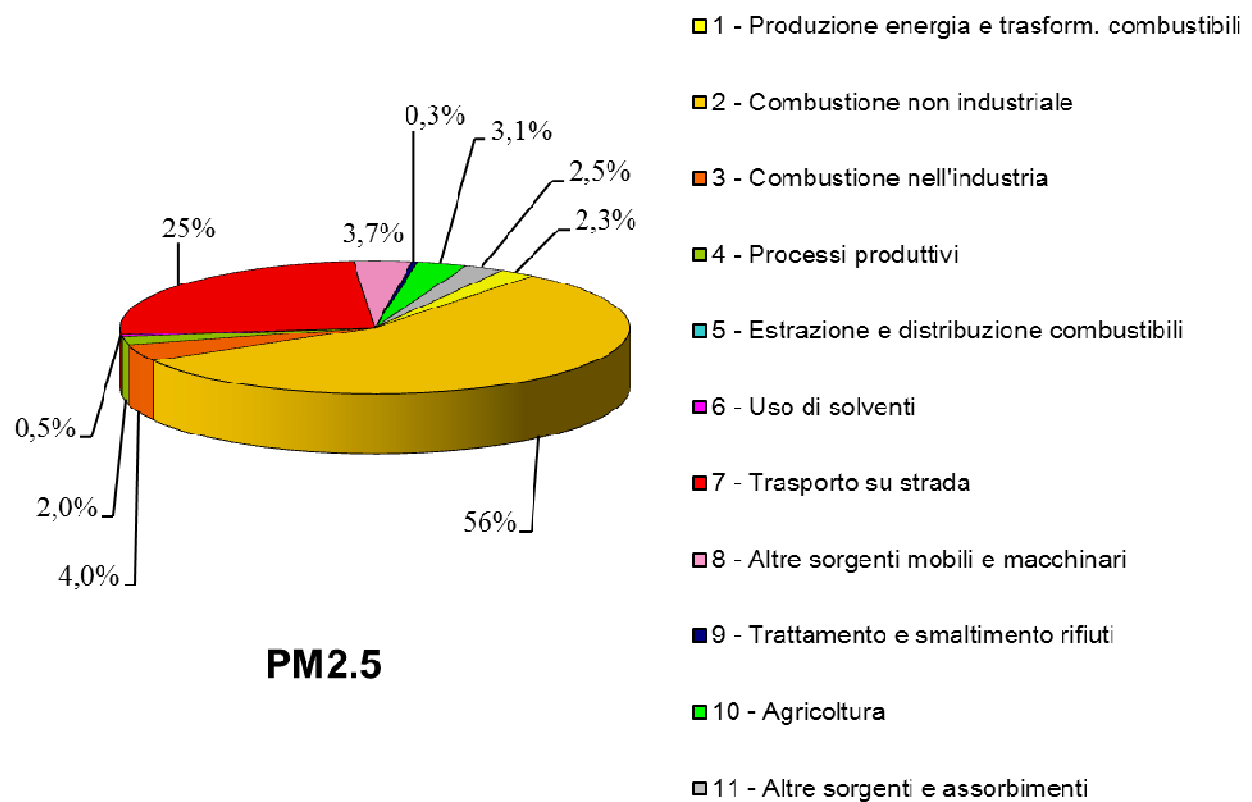


Grafico 5.9 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PM<sub>2,5</sub> in Regione Lombardia

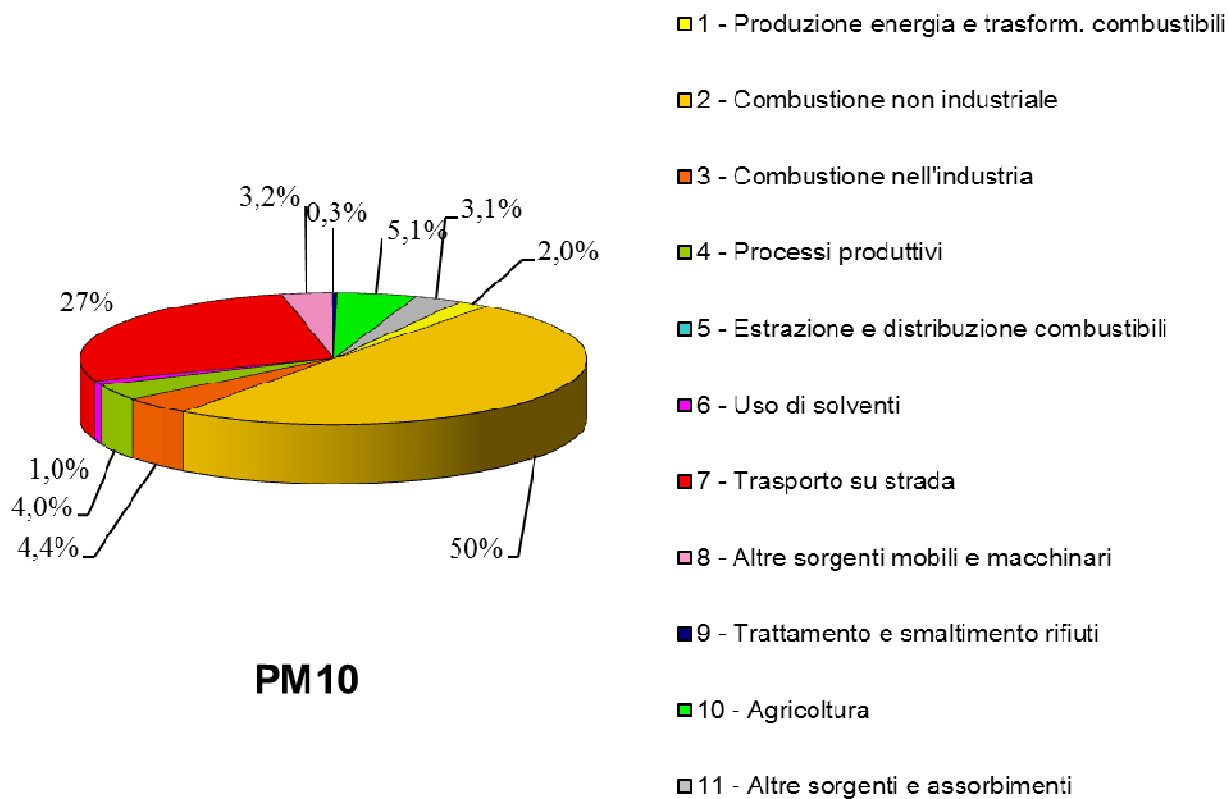


Grafico 5.10 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PM<sub>10</sub> in Regione Lombardia

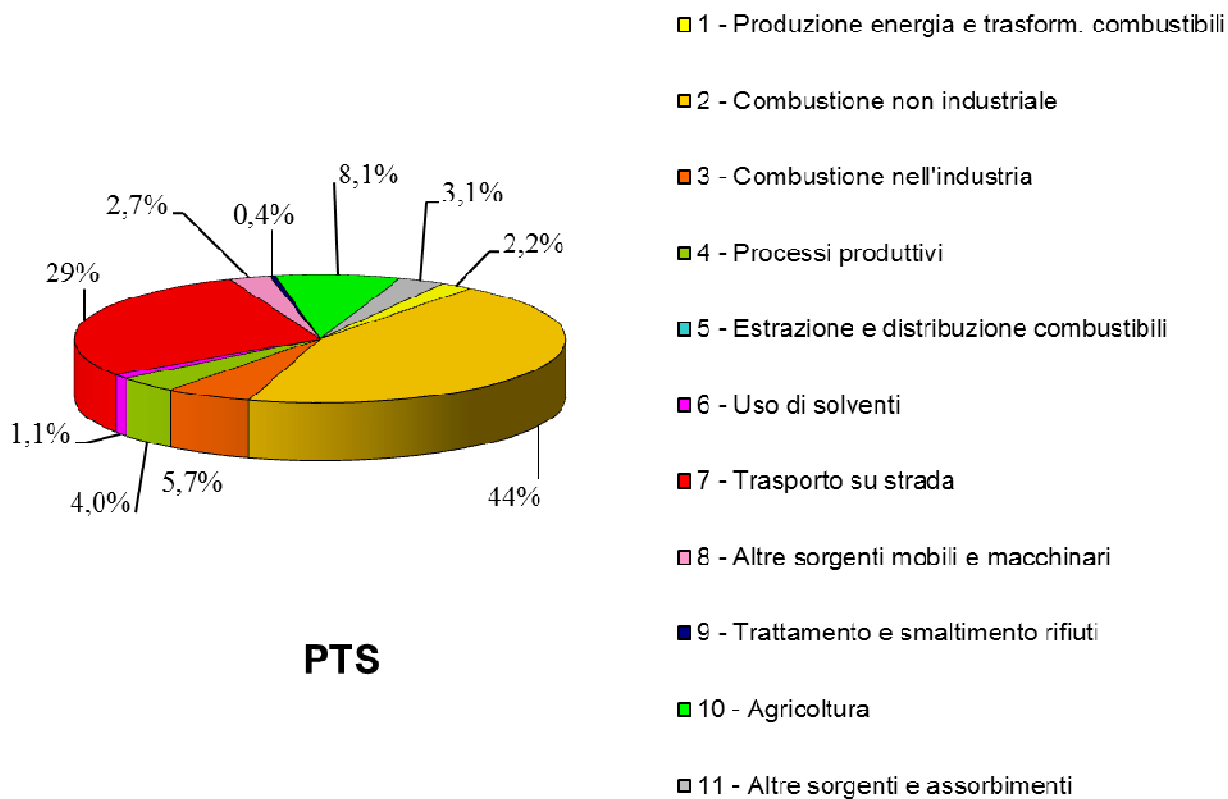


Grafico 5.11 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PTS in Regione Lombardia



## Dati Provincia di Milano

Fonte: <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>, 2008

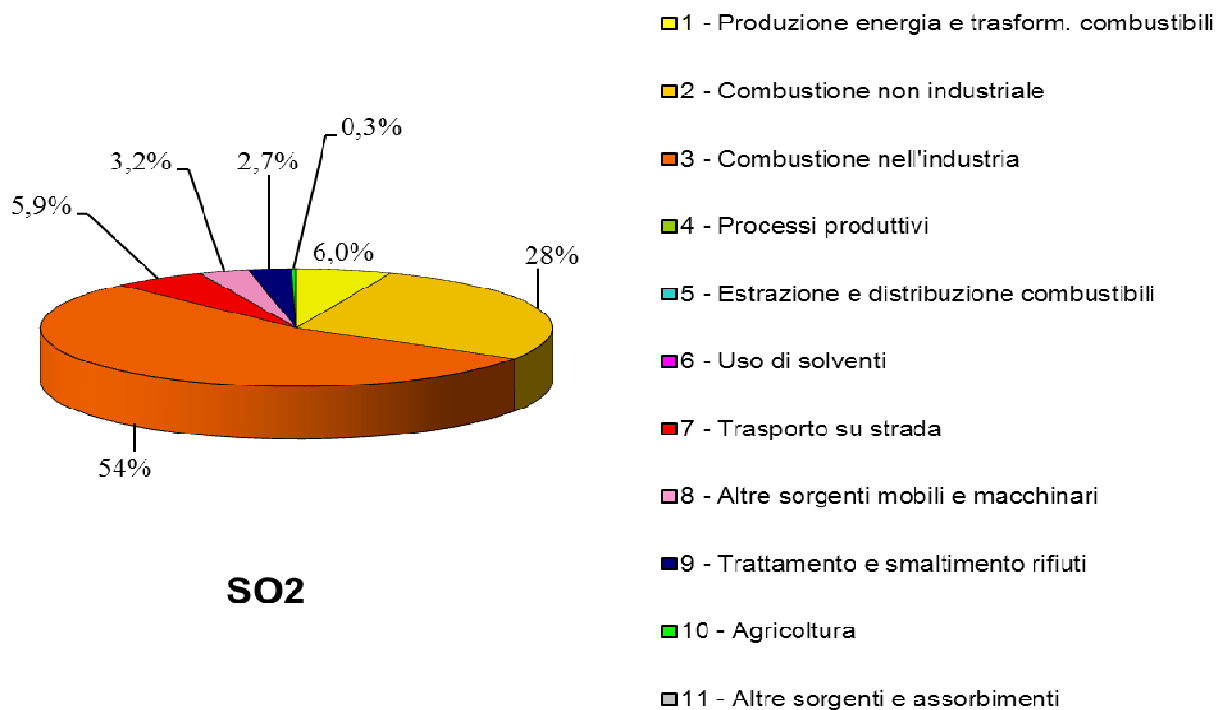


Grafico 5.12 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di SO<sub>2</sub> in Provincia di Milano

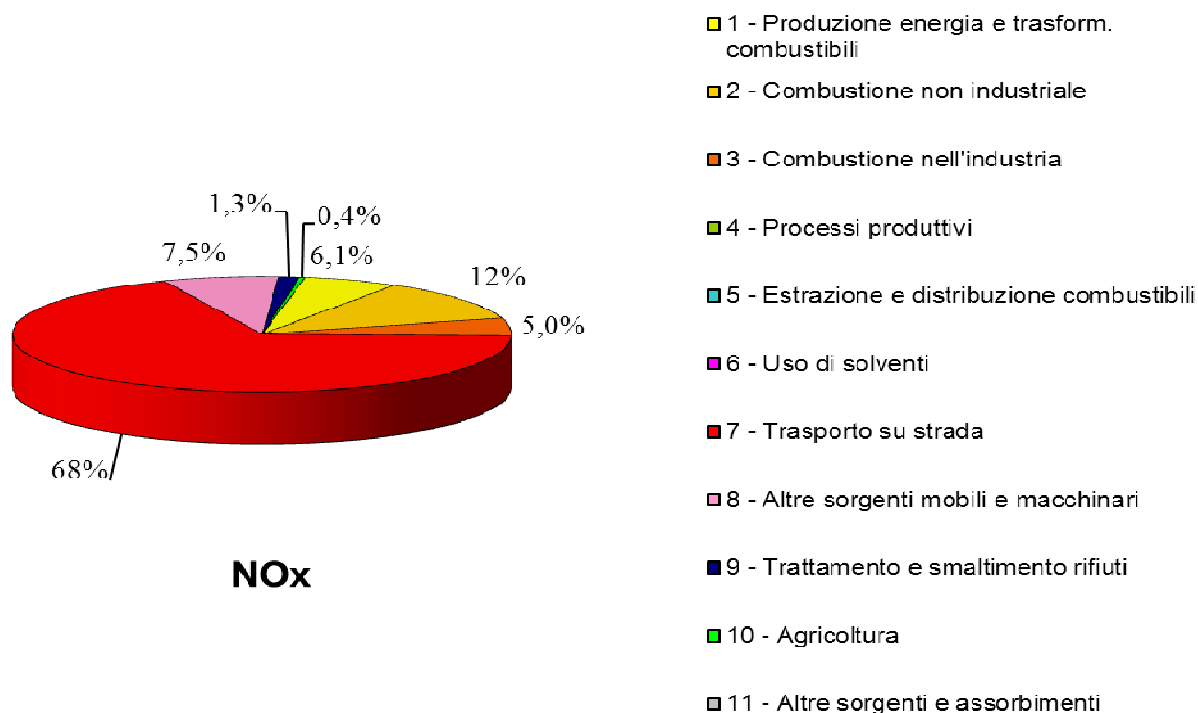
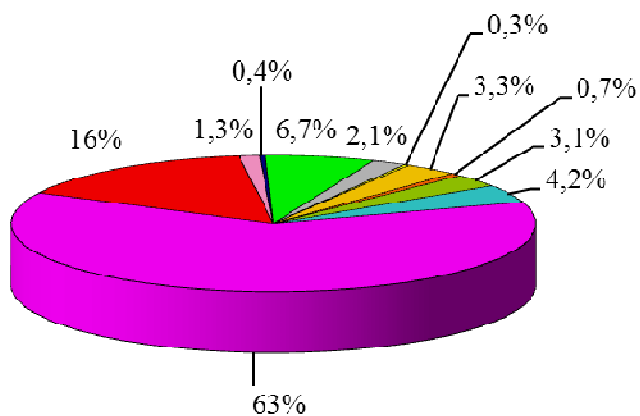


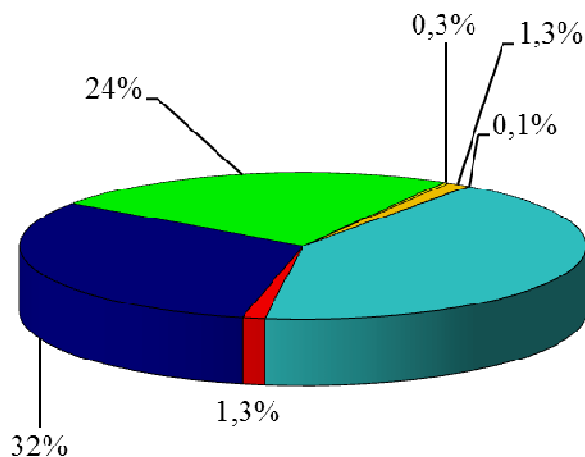
Grafico 5.13 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di NO<sub>x</sub> in Provincia di Milano



### COV

- 1 - Produzione energia e trasform. combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura
- 11 - Altre sorgenti e assorbimenti

Grafico 5.14 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di COV in Provincia di Milano



### CH4

- 1 - Produzione energia e trasform. combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura
- 11 - Altre sorgenti e assorbimenti

Grafico 5.15 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CH<sub>4</sub> in Provincia di Milano

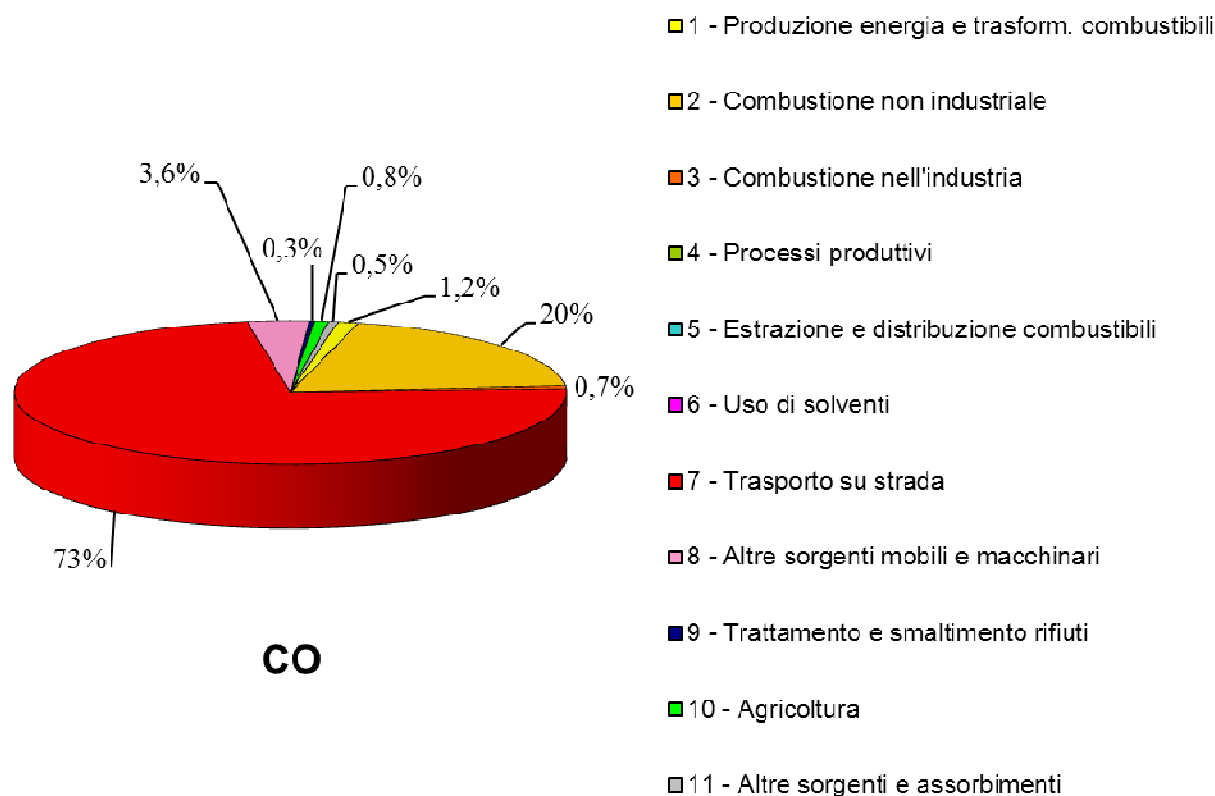


Grafico 5.16 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO in Provincia di Milano

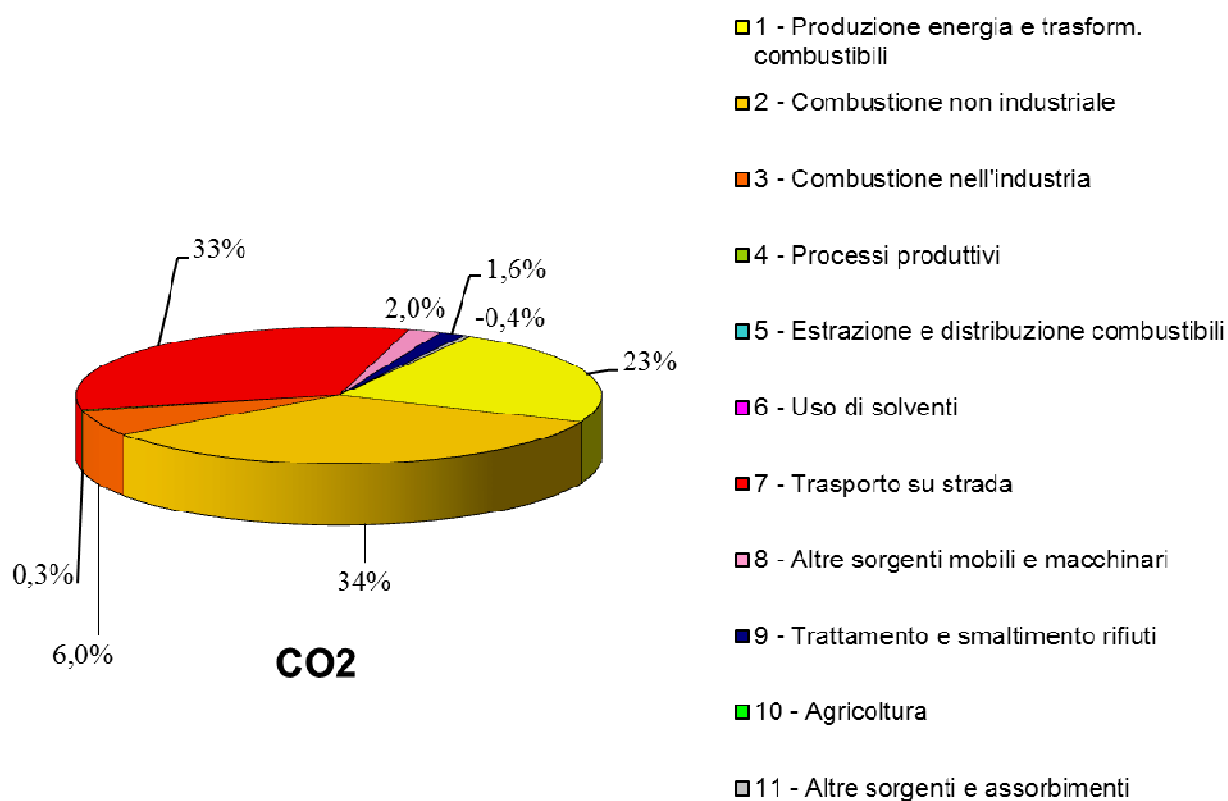


Grafico 5.17 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di CO<sub>2</sub> in Provincia di Milano

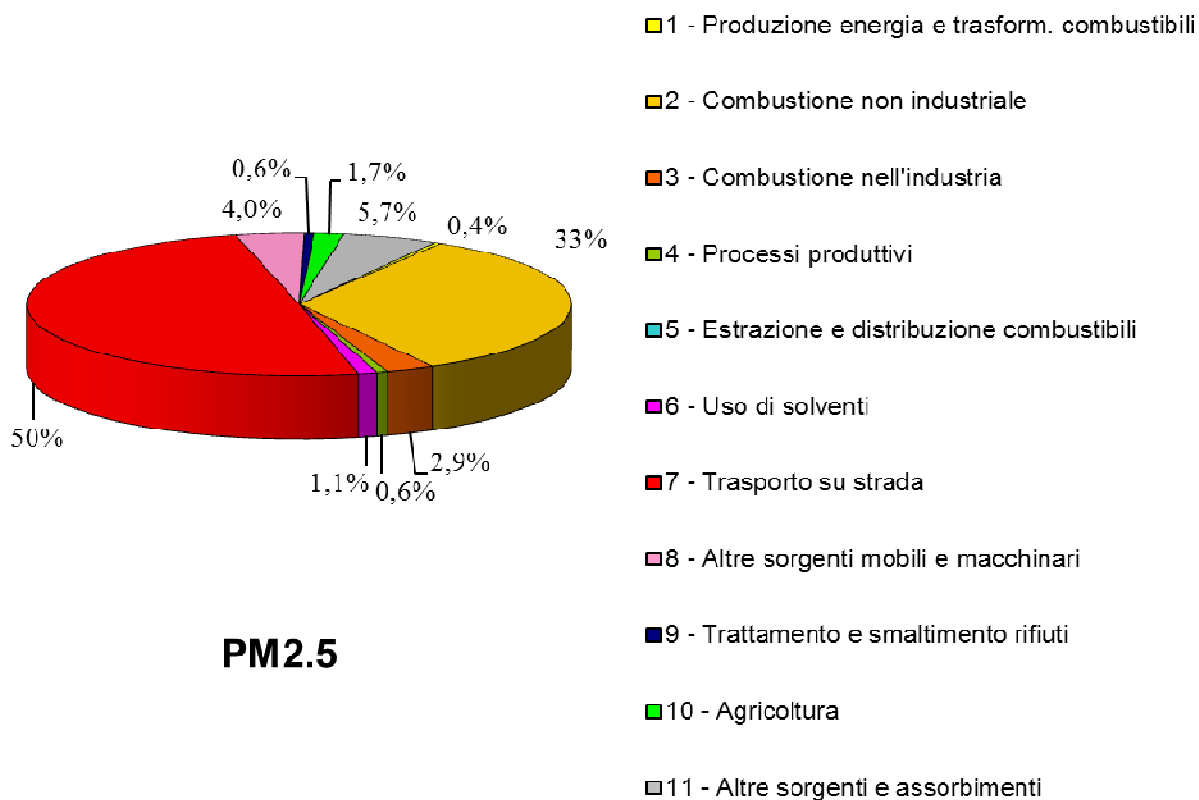


Grafico 5.18 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di  $PM_{2,5}$  in Provincia di Milano

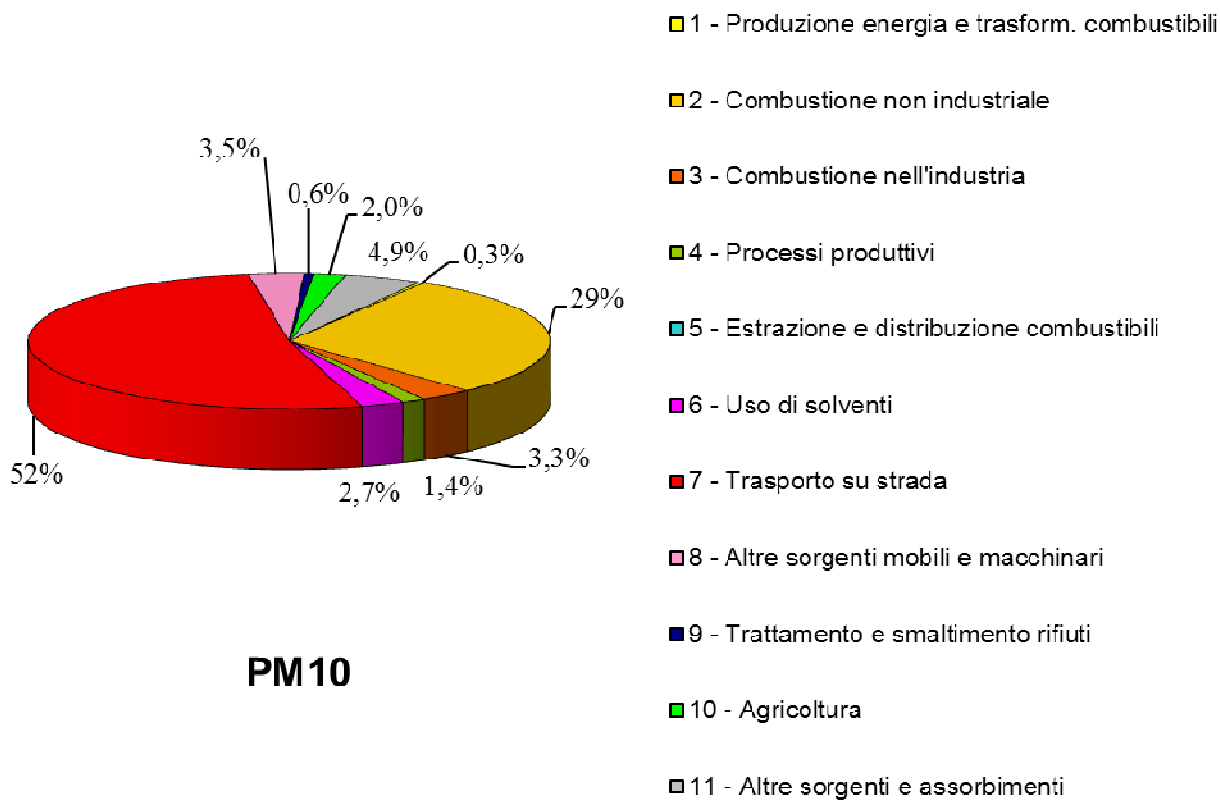


Grafico 5.19 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di  $PM_{10}$  in Provincia di Milano

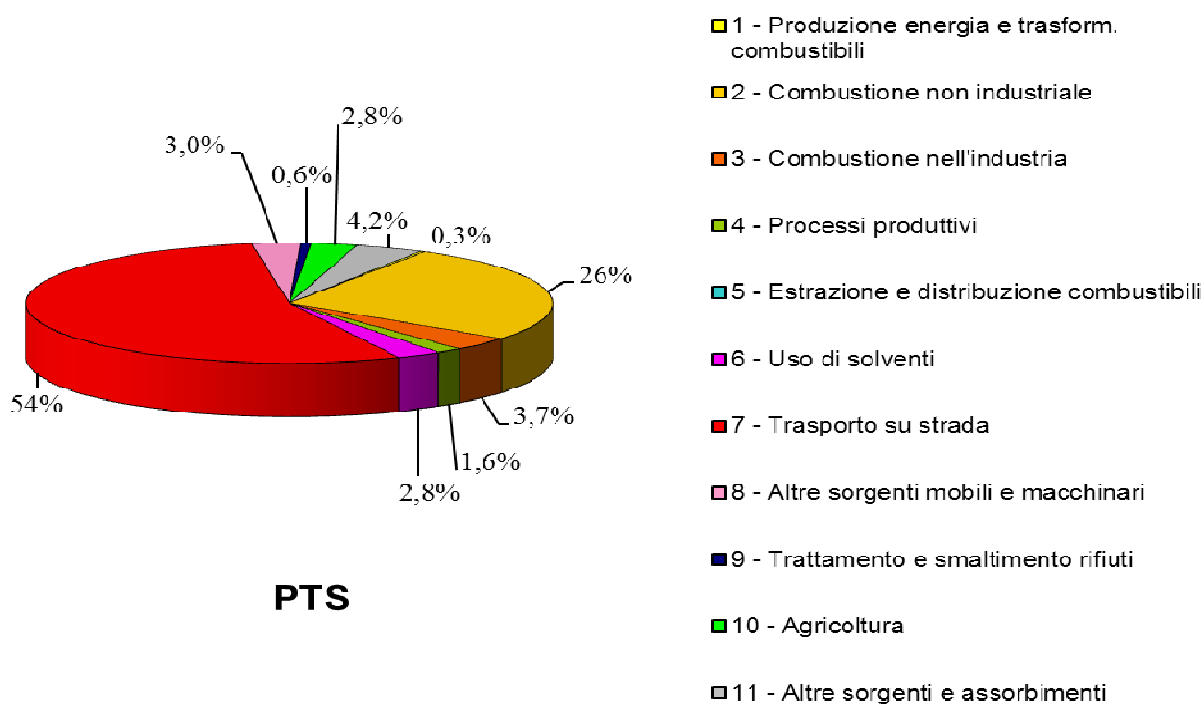


Grafico 5.20 – Contributi delle diverse attività inquinanti per le emissioni di PTS in Provincia di Milano

Come è apprezzabile, i grafici mostrano che per i contesti regionale-provinciale il contributo (espresso in termini percentuali) del trasporto su strada per l'immissione di inquinanti è più alto nel caso provinciale. In particolare, il trasporto urbano a livello regionale è la principale causa delle emissioni di  $\text{NO}_x$ , CO e  $\text{CO}_2$ , oltre che la seconda voce per quanto riguarda COV,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  e PTS, mentre a livello provinciale questa voce rappresenta la prima causa delle emissioni considerate, con l'unica eccezione dello scivolamento al secondo posto per le emissioni di  $\text{CO}_2$ .

Le combustioni non industriali (impianti commerciali, impianti residenziali, attività agricole), invece, sono la prima voce, a livello regionale, per quanto riguarda  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  e PTS, e la seconda, sempre a livello regionale, per  $\text{NO}_x$ , CO e  $\text{CO}_2$ . A livello provinciale, questo settore è la prima causa di emissioni di  $\text{CO}_2$ , e la seconda per  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  e PTS.

La tabella 5.1 mostra, in termini quantitativi, l'entità di queste emissioni sempre per la sola Provincia di Milano:

ATTIVITA'	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	PTS
/	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	kt/year	t/year	t/year	t/year
Combustion in energy and transformation industries	159	1.978	157	158	578	3.554	10	10	10
Non-industrial combustion plants	738	3.734	1.825	724	9.306	5.213	928	968	1.009
Combustion in manufacturing industry	1.435	1.605	376	33	321	928	80	109	141
Production processes	0	0,3	1.707	0,2		44	17	47	60
Extraction and distribution of fossil fuels			2.323	23.011					
Solvent and other product use	0,1	0,9	34.551	0,3	1,8		32	88	105
Road Transport	157	21.997	8.555	701	34.783	5.029	1.389	1.710	2.072
Other mobile sources and machinery	84	2.426	692	4,8	1.721	313	113	114	114
Waste treatment and disposal	72	425	211	17.105	124	244	17	18	22
Agriculture	7,7	122	3.710	12.848	403		48	64	107
Other sources and sinks	0,1	0,4	1.165	6,9	259	-66	159	160	160
<b>Total</b>	<b>2.652</b>	<b>32.288</b>	<b>55.273</b>	<b>54.593</b>	<b>47.496</b>	<b>15.260</b>	<b>2.794</b>	<b>3.287</b>	<b>3.800</b>

Tabella 5.1 – Emissioni per la Provincia di Milano

La tabella 5.2 mostra il contributo quantitativo del solo trasporto urbano alle immissioni in atmosfera per il caso della città di Milano e l'incidenza percentuale rispetto alle immissioni provinciali:

Descrizione attività	CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	PM <sub>2.5</sub>	COV	PTS	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
/	kt/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year
<b>Veicoli leggeri &lt; 3.5 t</b>	314,4	109,2	10,26	1187,09	109,17	156,72	110,43	10,25	1430,4
<b>Ciclomotori (&lt; 50 cm3)</b>	9,47	16,78	16,33	1118,42	16,78	1021,54	16,78	0,3	22,54
<b>Motocicli (&gt; 50 cm3)</b>	44,12	10,5	44,48	4349,66	10,5	944,42	10,5	1,39	47,74
<b>Automobili</b>	514,71	62,31	141,6	3596,48	62,31	399,75	62,43	14,96	957,05
<b>Somma</b>	<b>882,7</b>	<b>198,8</b>	<b>212,7</b>	<b>10251,7</b>	<b>198,76</b>	<b>2522,43</b>	<b>200,15</b>	<b>26,9</b>	<b>2457,74</b>
<b>Totale provincia trasporto urbano</b>	5.029	1.710	701	34.783	1.389	8.555	2.072	157	21.997
<b>% comune/provincia</b>	17,55	11,63	30,32	29,47	14,31	29,48	9,66	17,11	11,17

Tabella 5.2 – Contributo quantitativo del solo trasporto urbano alle immissioni in atmosfera per il caso della città di Milano e incidenza percentuale rispetto alle immissioni provinciali

Se il trasporto su strada è una delle voci più pesanti in termini di immissioni in atmosfera, a livello provinciale è più incisivo il trasporto extraurbano al di fuori del capoluogo.

La tabella 5.3 mostra, infine, il contributo quantitativo del riscaldamento domestico alle immissioni in atmosfera per il caso della città di Milano e l'incidenza percentuale rispetto alle immissioni provinciali:

Descrizione attività	CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	PM <sub>2,5</sub>	COV	PTS	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
/	kt/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year	t/year
<b>Camino aperto tradizionale</b>	0	20,43	7,6	142,57	19,79	30,89	21,28	0,31	1,19
<b>Camino chiuso o inserto</b>	0	2,21	1,77	28,27	2,15	4,16	2,31	0,07	0,38
<b>Caldaje con potenza termica &lt; 50 MW</b>	1312,99	23,96	83,54	540,82	23,95	104,11	23,95	414,71	943,78
<b>Somme</b>	1312,99	46,61	92,92	711,66	45,9	139,15	47,55	415,08	945,35
<b>Totale provincia trasporto urbano</b>	5213	968	724	9306	928	1825	1009	738	3734
<b>% comune/provincia</b>	25,18	4,82	12,83	7,65	4,94	7,62	4,71	56,24	25,31

*Tabella 5.3 - contributo quantitativo del riscaldamento domestico alle immissioni in atmosfera per il caso della città di Milano e incidenza percentuale rispetto alle immissioni provinciali*

Sono stati presi in esame i casi del trasporto urbano e del riscaldamento domestico poiché queste sono due delle voci che verranno utilizzate nella costruzione degli indici.

# ACCESSIBILITA': DEFINIZIONE ED INDICATORI

In questo capitolo del lavoro verranno esaminate le modalità con cui calcolare gli indicatori che permettono di valutare l'accessibilità delle aree urbane, intendendo per "accessibilità" la facilità con cui un'area di una città può essere raggiunta in termini di tempo e di costi, partendo da un'altra area.

## Caratteristiche degli indicatori dell'accessibilità

Gli indicatori: origine, destinazione, impedenza, limitazioni, barriere, tipologia di trasporto, modalità di accesso, scala spaziale e dinamicità.

### Origini

La definizione di "accessibilità" può anche essere letta nel seguente modo: un'area è considerata ad un alto livello di accessibilità se è possibile raggiungere in breve tempo e in modo poco dispendioso molte destinazioni partendo da essa.

In entrambe le definizioni il concetto di accessibilità è legato a quello di spostamento. Differenti soggetti (come lavoratori, turisti ecc.) sono attratti da diverse destinazioni, ed hanno diverse modalità di spostamento e diverse disponibilità (in senso economico) a muoversi. Gli indicatori dell'accessibilità dovranno quindi essere calcolati tenendo conto delle differenze tra i soggetti e le modalità di spostamento prese in considerazione ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

### Destinazioni

Differenti soggetti sono attratti da differenti destinazioni: chi si sposta per lavoro normalmente lo fa verso il centro città, i turisti sono invece attratti da bellezze artistiche e naturalistiche. Gli indicatori dovranno tenere dunque conto delle diverse destinazioni, come luoghi di lavoro, centri commerciali, attrazioni turistiche ecc. ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

### Impedenza

Gli indicatori di accessibilità più semplici considerano le infrastrutture legate ai trasporti della sola area presa in esame, come la vicinanza di stazioni del trasporto pubblico, il numero delle stesse nella zona ecc. Indicatori più complessi distinguono tra le destinazioni all'interno della stessa area e quelle verso altre aree ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

Lo sforzo necessario per affrontare le distanze nei viaggi prende il nome di impedenza spaziale. L'impedenza spaziale viene calcolata come una funzione della distanza o del tempo o del costo o come combinazione degli ultimi due (costo generalizzato).

Esistono due differenti approcci per il suo calcolo:

- 1) Distanza euclidea: si fa riferimento alla distanza euclidea tra due aree, considerandola come impedenza spaziale, quando non vengono prese in considerazione le reti di trasporto vere e proprie. Le origini e le destinazioni sono considerati dei nodi chiamati centroidi, e la distanza euclidea viene quindi calcolata come distanza tra i centroidi. Altre variabili come il tempo e i costi di viaggio, la congestione, la sicurezza del viaggio non sono considerate.



- 2) Impedenza delle reti di trasporto: vengono considerate una o più reti di trasporto e il tempo o il costo di viaggio del percorso più breve tra un'origine e una destinazione è presa come impedenza spaziale. Origini e destinazioni sono assunte concentrate nei centroidi, e sono i centroidi ad essere uniti dalle reti di trasporto.

### **Vincoli**

I vincoli sulla velocità, agli accessi per alcune categorie di veicoli, o i vincoli non regolamentati come la congestione interferiscono sulla buona connessione tra le aree di una città. Questi aspetti devono essere ovviamente tenuti in considerazione dagli indicatori di accessibilità ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

### **Barriere**

Possono essere classificate in:

- 1) Barriere politiche, come confini per il cui attraversamento sono richiesti documenti specifici;
- 2) Barriere economiche, come per esempio dazi doganali sullo scambio di beni tra Paesi diversi;
- 3) Barriere legali, ovvero restrizioni al movimento di persone per questioni di sicurezza, per limitazioni nel mercato del lavoro ecc.
- 4) Barriere culturali, cioè barriere legate ai diversi stili di vita, costumi, tradizioni tra due zone;
- 5) Barriere linguistiche, che come quelle culturali possono scoraggiare lo spostamento di persone da un'area ad un'altra in cui si parla una lingua differente.

Naturalmente, questi aspetti, che devono essere tenuti in considerazione nella stesura di un indicatore dell'accessibilità, trovano scarsa applicazione nel contesto urbano verso cui è rivolto il presente lavoro ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

### **Tipologia del soggetto del trasporto**

La maggior parte degli indicatori di accessibilità è espressa in termini di trasporto. Gli indicatori dovranno tener conto del fatto che il soggetto che si sposta è un bene economico o un cittadino ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

### **Modalità di trasporto**

Gli indicatori devono tener conto della modalità di trasporto tra le diverse aree (treno, metropolitana, automobile ecc.). In tal senso, gli indicatori possono essere unimodali (se tengono conto di una sola tipologia di trasporto), multimodali (se aggregano due o più indicatori unimodali) o intermodali (se considerano spostamenti che possono avvenire utilizzando diverse tipologie di trasporto ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

### **Scala spaziale**

Gli indicatori dell'accessibilità possono riferirsi a scale spaziali che variano dal continentale all'urbano. L'accessibilità, però, può essere calcolata solo per punti, siano essi delle coordinate geografiche (quando si utilizza il metodo euclideo per calcolare le distanze) o come nodi delle reti di connessione (quando si ricorre all'impedenza delle reti di trasporto). Tuttavia, spesso, gli indicatori dell'accessibilità devono riferirsi ad aree, e conseguentemente devono essere effettuate alcune generalizzazioni ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

La generalizzazione più comune è quella considerare le origini e le destinazioni concentrate in punti nodali al centro delle aree che vengono chiamate centroidi (la generalizzazione è accettabile se le aree sono piccole).

### **Dinamicità**

L'accessibilità non è costante, ma varia col variare delle condizioni socio-economiche e con i cambiamenti delle reti di trasporto. Gli indicatori dell'accessibilità devono quindi potersi evolvere nel tempo, per tenere conto dei possibili mutamenti ("Conceptual frame work", TRT, 2011).

## **Indicatori generici dell'accessibilità**

In termini generali, l'accessibilità è il risultato della combinazione di due funzioni, una che rappresenta le attività o le opportunità che possono essere raggiunte e l'altra che tiene conto del tempo, della distanza, del costo necessari per raggiungerle:

$$A_i = \sum_j g(W_j) f(c_{ij})$$

*Formula 6.1*

Dove:

$A_i$  = accessibilità dell'area;

$W_j$  = attività raggiungibile nell'area  $j$ ;

$c_{ij}$  = costo generalizzato per andare dall'area  $j$  all'area  $i$ ;

$g(W_{ij})$  = funzione di attività;

$f(c_{ij})$  = funzione di impedenza;

Il loro prodotto permette di applicare un peso ad entrambe le funzioni.  $A_i$  rappresenta la totalità delle attività raggiungibili nell'area  $j$  pesate in base alla felicità con cui si può giungere a  $j$  partendo da  $i$ .

E' una formula, quindi, che si basa sul concetto di potenziale, in accordo con la legge di gravitazione newtoniana: l'attrazione di un corpo lontano è pari alla massa di quest'ultimo in rapporto rapportato al quadrato della sua distanza. Nel caso dell'accessibilità, si intende come "attrazione" la proporzione tra la dimensione di un'area (per esempio la sua popolazione, la quantità di posti di lavoro offerti ecc.) pesata rispetto ad una funzione decrescente con la distanza di quest'area da quella di partenza. La "distanza" è la funzione di impedenza  $f(c_{ij})$ . La definizione di accessibilità orientata rispetto all'origine dice che più alto è il numero di abitanti dell'area  $j$  che possono giungere all'area  $i$ , allora tanto più grande è l'accessibilità dell'area  $i$ .

Differenti tipi di indicatori dell'accessibilità possono essere generati da differenti forme di espressione delle funzioni  $g(W_{ij})$  e  $f(c_{ij})$ :

- 1) Indicatori legati al costo dei trasporti: se vengono tenute in considerazione solamente alcune destinazioni ( la funzione di attività è dunque costante), mentre la funzione di impedenza è dipendente dai costi o dai tempi di viaggio (con una legge che può essere lineare), l'indicatore

dell'accessibilità è il totale o la media dei costi di trasporto partendo da un'area per le destinazioni considerate (questo è stato il criterio seguito nel presente lavoro);

- 2) Indicatori di accessibilità giornaliera: se vengono considerate solo i percorsi con un prefissato tempo necessario per percorrerli (la funzione di impedenza è costante), mentre le destinazioni non hanno vincoli (la funzione di attività è lineare), l'indicatore di accessibilità misura il numero delle potenziali destinazioni (servizi, luoghi di lavoro, attrazioni turistiche ecc.) che possono essere raggiunte in un certo tempo, per esempio in un giorno;
- 3) Indicatori di potenziale: se la funzione di impedenza considera i comportamenti legati agli spostamenti come, per esempio, decrescenti all'aumentare della distanza (la funzione di impedenza non è lineare, ma può essere, per esempio, esponenziale), l'indicatore di accessibilità è un indicatore di potenziale. Anche la funzione di attività può tenere in considerazione una molteplicità di effetti, propri, per esempio, delle economie di scala, diventando così non lineare.

# I COSTI DELLE ABITAZIONI

In questo capitolo verranno descritte le basi economiche che regolano i meccanismi di quotazioni immobiliari, che, insieme ai già descritti consumi energetici e ai costi dei trasporti, rappresentano gli input degli indici confrontati nel presente lavoro.

## **Introduzione: le caratteristiche dei beni immobiliari**

Da un punto di vista economico, i beni immobili (le case, i centri commerciali, i complessi direzionali ecc.) sono oggetto di mercati particolari. Uno degli aspetti peculiari che distingue il mercato dei beni immobili riguarda il meccanismo di formazione del prezzo al quale essi vengono scambiati. La peculiarità della genesi del valore dei beni immobili si spiega in ragione di elementi che differenziano tali beni rispetto ad altri beni economici in modo strutturale e non contingente ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

I beni immobili, infatti, si compongono di due parti distinte. La prima riguarda il manufatto edilizio in quanto esito di un processo di produzione più o meno assimilabile ad un processo industriale. La seconda è costituita da una risorsa, il suolo, che presenta la duplice caratteristica di disomogeneità e di limitatezza. Il suolo è disomogeneo in quanto, a rigore, non vi è una porzione di suolo perfettamente identica ad un'altra. Il suolo è limitato in quanto le terre disponibili all'edificazione (o alla coltivazione) sono fisicamente limitate).

Il processo di formazione del valore di qualsiasi bene immobile risente delle particolarità del bene suolo che in esso è incorporato e non può essere quindi ricondotto entro la logica del mercato perfettamente concorrenziale.

## **Confronto fra mercato immobiliare e mercato di concorrenza perfetta**

L'elemento che distingue il mercato di concorrenza perfetta rispetto ad altre forme di mercato risiede nel fatto che in esso ciascuna impresa assume che il prezzo sia indipendente dalla quantità prodotta. In altri termini, l'impresa che opera in un mercato perfettamente concorrenziale "subisce" il prezzo di mercato, e lo assume come vincolo ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Perché ciò avvenga, alcune importanti condizioni devono verificarsi simultaneamente. In primo luogo, le quantità offerte e domandate devono essere tali per cui nessun operatore deve essere in grado di influenzare il prezzo della merce. Inoltre, il mercato deve essere aperto a tutti coloro che intendono produrre o acquistare il bene scambiato. Ciò comporta che il mercato non deve presentare alcun ostacolo di tipo economico, tecnico o amministrativo a chi desidera operarvi. Infine, il bene scambiato deve essere omogeneo ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Nel mercato immobiliare, almeno di norma, opera una pluralità di agenti economici, nessuno dei quali è in grado di influenzare il prezzo dei beni scambiati. Il mercato della casa e quello dei suoli si presentano generalmente frazionati in una molteplicità di operatori e nella maggior parte dei casi non appare verosimile che un soggetto, sia esso compratore o venditore, riesca ad influenzare il prezzo di mercato, né tantomeno a stabilirlo autonomamente ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Vi possono essere tuttavia casi in cui il bene immobile presenta caratteristiche tali da restringere significativamente la schiera dei possibili soggetti interessati allo scambio. Il mercato può allora avvicinarsi al monopolio o all'oligopolio e/o al monopsonio (i potenziali acquirenti di un bene immobile possono essere assai pochi quando non uno solo). Tuttavia, eventuali deviazioni rispetto ad una norma in cui una molteplicità di soggetti si confronta sia sul versante dell'offerta che su quello della domanda non hanno natura strutturale, bensì sono legate a specifiche contingenze del mercato e non alterano quindi una valutazione di sostanziale rispetto ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Diverso è invece il ragionamento sulle caratteristiche del mercato immobiliare quando si vada a verificare le ultime due condizioni che qualificano il mercato di concorrenza perfetta: la natura aperta del mercato e l'omogeneità del prodotto. Il mercato immobiliare non è aperto a tutti gli operatori: la possibilità di disporre della risorsa suolo non è assicurata a tutti, dal momento che essa è fisicamente limitata ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011). L'omogeneità del prodotto, inoltre, non rappresenta un'ipotesi plausibile: anche se due edifici sono stati realizzati dalla stessa impresa edile, con gli stessi materiali e con lo stesso progetto, essi non insistono sullo stesso sito, e questa loro differente localizzazione rende diversi i due beni ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Se eventuali deviazioni rispetto alla condizione di impossibilità da parte di un agente di modificare il prezzo deve essere considerata un'alterazione contingente del mercato immobiliare, per le due ultime condizioni lo scarto rispetto ad una situazione di mercato di concorrenza perfetta va considerato come un aspetto strutturale di tale mercato, in grado di condizionarne in modo decisivo le regole di funzionamento.

Anche altri mercati presentano caratteristiche analoghe e, in particolare, la caratteristica della disponibilità limitata di un fattore della produzione. E' quindi possibile affermare che il mercato immobiliare rappresenta un caso particolare di un mercato di concorrenza, in cui l'accesso a risorse necessarie alla produzione è limitato e in cui i beni prodotti risultano strutturalmente disomogenei ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

### **Scarsità legale e scarsità naturale**

Il bene immobile si caratterizza per essere esito di un processo produttivo in cui sono combinati fattori produttivi disponibili senza vincoli e una risorsa disponibile solo in forma limitata e strutturalmente disomogenea.

La natura di bene scarso in senso assoluto e quindi a offerta strutturalmente limitata non è sempre connessa con la scarsità "naturale" del bene. E' infatti possibile distinguere due tipi di rendite che derivano da questo fenomeno:

- 1) Rendite effettivamente legate all'offerta strutturalmente limitata di alcune risorse naturali (è il caso dei terreni);
- 2) Rendite legate invece a restrizioni di natura legale-amministrativa. E' allora il soggetto pubblico che interviene per ragioni diverse a regolamentare un ambito economico restringendo artificialmente l'offerta di risorse necessarie alla produzione di beni e servizi (la restrizione dei suoli a destinazione edificatoria può trovare ragione nella volontà di controllo della crescita urbana). Spesso, in questi casi, la risorsa limitata non è altro che un'autorizzazione amministrativa.

## Rendita e posizione: il modello di von Thünen

Il modello di von Thünen pone la formazione della rendita fondiaria (legata al suolo) in funzione della posizione geografica del bene fondiario, mettendo in relazione la rendita fondiaria e la localizzazione della attività produttive sul territorio. Il modello è strutturato intorno al concetto di fertilità del terreno, che ne costituisce il fattore genetico.

Il punto chiave del modello è rappresentato dalla differente accessibilità dei luoghi rispetto al centro e quindi ai costi di trasporto che la produzione deve sostenere per accedere ai mercati.

Può essere utile un esempio: consideriamo un territorio con un centro e una periferia. Al centro troviamo il mercato, ovvero il luogo dello scambio. Coloro che hanno la propria produzione localizzata in area periferica devono necessariamente sostenere un costo superiore rispetto a coloro che producono in un'area centrale, poiché sono costretti a trasportare la merce fino al luogo dello scambio. Dunque il centro è caratterizzato da costi nulli di trasporto, mentre quanto più ci spostiamo in periferia, tanto più i produttori sopportano crescenti costi di trasporto ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Per la determinazione della formazione della rendita risultano decisive alcune variabili: il prezzo di vendita del prodotto finale, il costo di trasporto delle merci, il costo complessivo della produzione al netto della voce appena considerata ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Grazie al grafico 7.1 è possibile analizzare il rapporto fra rendita e posizione.

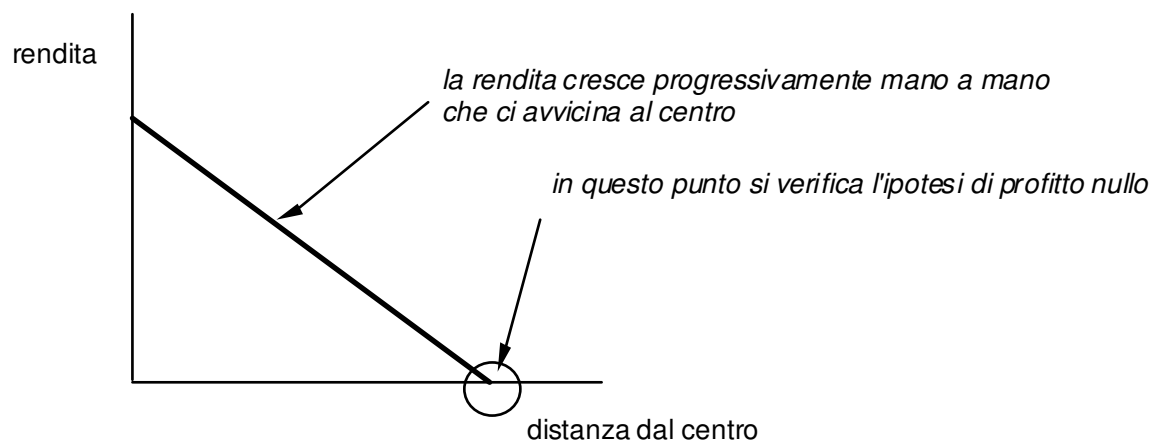


Grafico 7.1 – Relazione rendita-distanza dal centro

Vi è una localizzazione in cui l'imprenditore ha profitto nullo, dal momento che l'insieme dei ricavi copre solamente l'insieme dei costi. Se costi e ricavi si equivalgono, allora non c'è alcun residuo e l'imprenditore non può offrire alcun compenso al proprietario del suolo dal momento che ciò che ritrae dalla terra consente esclusivamente la remunerazione dei fattori di produzione.

Spostandosi verso il centro, i costi di trasporto diminuiscono e ciò determina la formazione di un residuo, ovvero di una differenza fra ricavi e costi. Mano a mano che ci si avvicina al luogo dello scambio, il residuo aumenta. Al centro i costi di trasporto sono nulli e il residuo è uguale alla differenza fra ricavi e costi al netto della quota relativa al trasporto delle merci. Nel modello di von Thünen questo residuo non è altro che la rendita di posizione, di cui la proprietà fondiaria si appropria in quanto è la risorsa suolo a

fondamento del vantaggio specifico di quella porzione di suolo rispetto alle aree concorrenti (“Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare”, Micelli, 2011).

### **L’attualità del modello di von Thünen**

Il modello di von Thünen è stato elaborato nella prima metà dell’Ottocento, in contesti economici radicalmente diversi da quelli attuali, in cui il settore primario rappresentava di gran lunga il settore più rilevante per la formazione della ricchezza. Ripensare i fattori che hanno portato alla sua determinazione nel quadro delle economie avanzate rappresenta un nodo ineludibile per dare attualità, e quindi validità, al modello.

Il primo problema è legato ad una traduzione del concetto di fertilità in un ambito non solo rurale e in un contesto economico dominato dal settore secondario e da quello terziario. Si può generalizzare il concetto di fertilità come possibilità di ottenere ricavi superiori alla media delle imprese che operano in un certo settore dell’economia; per le funzioni terziarie e commerciali, si può sensatamente affermare che determinati contesti territoriali (ad esempio le grandi città) consentono livelli di domanda superiori, e assicurano quindi alle imprese che hanno in quelle aree la propria localizzazione superiori livelli di ricavo (“Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare”, Micelli, 2011).

Analogamente, anche l’accessibilità (per relativa ai mercati) è suscettibile di una traduzione nei termini di un’economia avanzata. Se spostiamo l’attenzione dall’accessibilità fisica ai mercati alla capacità di ottenere “informazione” (input produttivo decisivo soprattutto in molte attività terziarie avanzate) a costi più contenuti, ecco che il modello di von Thünen si mostra di grande utilità nella comprensione dell’allocazione del suolo fra le attività diverse (“Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare”, Micelli, 2011).

Un ultimo aspetto, infine, merita di essere tenuto in considerazione. Nel momento in cui portiamo il concetto della rendita all’interno di contesti economici avanzati, ci stacciamo definitivamente dall’idea di rendita come tratto statico dell’economia, essenzialmente ancorato a vincoli di tipo fisico-naturale peculiari di economie fondate sul settore primario. Se la rendita è legata a vantaggi localizzativi in cui l’informazione e il livello di domanda giocano un ruolo decisivo, allora la rendita interagisce dinamicamente con il processo di costruzione collettivo della città e del territorio. Se ne deduce che la rendita non è concetto statico, bensì dinamico: gli interventi sulla città portano a trasformazioni in grado di modificare i livelli di accessibilità delle diverse aree e quindi rimodellano costantemente la rendita, valorizzando aree prima sfavorite e penalizzandone altre ponendole ai margini rispetto ai luoghi centrali (“Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare”, Micelli, 2011).

### **Applicazioni al caso urbano**

L’accessibilità di un’area risulta spesso funzione dell’intervento della mano pubblica che, grazie all’infrastrutturazione del territorio genera un aumento della rendita e, conseguentemente, dei valori di terreni e fabbricati, di cui solo una categoria ben precisa di cittadini (i proprietari fondiari) si appropria.

Ragioni di inefficienza allocativa e di iniquità impongono quindi di intervenire, per governare la rendita secondo gli obiettivi di efficienza e di equità che la società intende promuovere. Va prestata però un’attenzione particolare alla natura intrinseca della rendita: essa sorge in quanto esiste un vantaggio reale, dovuto alla posizione del suolo stesso. Tale vantaggio è ineliminabile e prescinde dal fatto che ad essere proprietario dei suoli sia il soggetto pubblico o quello privato.

Non solo: la rendita rappresenta un dispositivo ottimizzante nell'allocazione della risorsa spazio. Le aree più accessibili vengono infatti date in uso a coloro che ne traggono più vantaggio: in una ipotetica asta, i suoli più pregiati sono ceduti a coloro che sono disposti a pagare di più perché dalla localizzazione in aree centrali traggono maggiori benefici. Se così si vuole allocare in modo ottimale la risorsa suolo, quest'ultima deve essere attribuita a coloro che ne beneficiano maggiormente: quand'anche il soggetto pubblico fosse proprietario di tutti i suoli, non potrebbe fare altro che utilizzare il dispositivo della rendita per giungere ad una efficiente allocazione di tale risorsa ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011).

Il dilemma è allora il seguente: da un lato, la rendita solleva legittime istanze legate alla appropriazione di ricchezza collettiva da parte di una porzione minoritaria di cittadini; dall'altro, la rendita è dispositivo ottimizzante nell'allocazione di una risorsa a offerta limitata quale è il suolo.

La soluzione al problema, calibrata al caso urbano, che è quello che interessa nel presente lavoro, può essere trovata operando su più fronti.

In primo luogo rispondendo positivamente alla "domanda di città", e quindi provvedendo a creare le condizioni perché risulti minima la scarsità aggregata dei suoli destinati ad uso urbano. Va detto che il costo sociale di tale produzione non può che essere sostenuto da coloro che ne beneficiano; del resto è su questa filosofia che poggia il principio della onerosità della concessione edilizia stabilito dalla legge 10/77 ("Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", Micelli, 2011). In secondo luogo, la rendita può essere ridistribuita attraverso la nuova creazione di valori di accessibilità tramite un articolato processo di infrastrutturazione in grado di rendere centrali luoghi altrimenti svantaggiosamente localizzati. Infine, la fiscalità immobiliare rappresenta lo strumento principe per catturare le plusvalenze fondiarie ed immobiliari legate all'intervento della mano pubblica.



# DUE INDICI PER L'ANALISI TERRITORIALE

Gli indici vengono utilizzati per la loro capacità di sintetizzare informazioni tramite un valore che proviene dall'elaborazione di alcuni parametri. Sono quindi strumenti estremamente utili per riassumere le caratteristiche dell'ambito a cui sono applicati, anche per la loro capacità di variazione in corrispondenza del cambiamento degli input. Nel presente lavoro, essi sono utilizzati per fornire informazioni sintetiche ai pianificatori, e per aiutare le famiglie a compiere scelte informate.

## **Ambito di applicazione: i costi per le famiglie**

Per le famiglie, il costo della vita consta di diverse voci di spesa. Le più consistenti sono quelle relative alle spese legate alle residenze e i costi connessi ai trasporti. In particolare:

- 1) i costi di trasporto costituiscono il secondo capitolo in termini di spese per le famiglie, dopo i costi relativi alla residenza ("The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice", Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006);
- 2) per le famiglie lavoratrici, i costi residenziali e di trasporto assorbono più del 50% delle risorse familiari ("The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice", Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006).

Mentre i costi residenziali sono generalmente noti, i costi dei trasporti non sempre lo sono, o sono spesso sottovalutati nelle elaborazioni relative alle analisi territoriali. Ciò accade anche nella valutazione dell'"affordabilità" di un'area (nel nostro caso, la convenienza o meno, per una famiglia, a risiedere in una zona, considerati i costi sostenuti ed il reddito a disposizione) .

Negli ultimi anni, i costi di trasporto sono incrementati, divenendo determinanti nel bilancio familiare, e, conseguentemente, nella scelta della località in cui vivere. La vicinanza a luoghi di lavoro e di servizi è diventata un parametro imprescindibile per l'analisi delle dinamiche di distribuzione delle residenze, e dei conseguenti costi delle abitazioni.

Generalmente, infatti, le abitazioni sono meno costose quando sono localizzate in zone poco servite e distanti dalle aree di lavoro, situazioni in cui, invece, i costi di trasporto sono più alti. Questo perché, frequentemente, nelle città il luoghi di lavoro sono rimasti nei centri, mentre le case più economiche sono localizzate in periferia, e perché spesso l'espansione urbana si è caratterizzata per aree omogenee, ragion per cui aree residenziali ed aree produttive non coincidono.

Un numero crescente di ricerche ("The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice", Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006) mostra una forte relazione tra alta densità di insediamenti (abitativi e non) e la presenza di percorsi preclusi alle automobili, la riduzione della lunghezza dei percorsi compiuti dalle vetture e della diffusione del possesso delle automobili nella stessa zona. Con l'aumento dei costi di trasporto, i benefici derivanti dal vivere in una zona densamente fornita di servizi ed opportunità di lavoro diventano considerevoli.

## L’Affordability Index

L’Affordability Index è stato proposto (“The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice”, Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006) con lo scopo di fornire una misura che tenga conto della relazione tra i costi relativi alle abitazioni e i costi derivanti dal vivere in una specifica località (in particolare i costi di trasporto), valutandoli rispetto al reddito familiare. Si configura così, come verrà illustrato più avanti, come un rapporto spese mensili/entrate mensili.

La peculiarità dell’Affordability Index consiste nella capacità di calcolare i costi dovuti agli spostamenti legandoli alla vicinanza delle mete rispetto al luogo di residenza.

L’Affordability Index permette dunque di indicare ai cittadini dove è più conveniente andare ad abitare, e al decisore pubblico quali devono essere le scelte in materia di pianificazione urbanistica, e quali saranno i benefici indotti da tali scelte.

### Presentazione del modello

L’Affordability Index ha la seguente formulazione (“The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice”, Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006):

$$\text{Affordability Index} = \frac{\text{CA} + \text{CT}}{\text{R}}$$

*Formula 8.1*

Dove:

CA = costi medi legati alle abitazioni;

CT = costi medi legati ai trasporti;

R = reddito.

Dunque, l’Affordability Index calcola la somma dei costi medi relativi alle abitazioni e dei costi medi dei trasporti, rapportandoli al reddito medio.

Tale indice non è puntuale, ma areale. Tale indice non è puntuale, ma areale. La scelta compiuta dagli autori del lavoro considerato (“The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice”, Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006) è stata quella di costruire un indice che parte da informazioni generali (legate, appunto, all’area di una città, e non relativa ad un singolo cittadino) per fornire una descrizione anch’essa su un orizzonte areale. Tale decisione è volta ad ottenere informazioni che possono meglio descrivere le caratteristiche di un contesto urbano. La scelta delle variabili necessarie ad implementare tale indice (che a breve verranno descritte) è conseguenza di questa scelta, che, ovviamente, non è l’unica percorribile per considerare le spese economiche, sociali, ambientali ecc. legate al vivere in una città, ma appare la più indicata per lo studio condotto in questo lavoro.

Per quanto concerne i costi legati all’abitazione, i riferimenti bibliografici (“The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice”, Center for Transit Oriented Development

and Center for Neighborhood Technology, 2006) considerano i costi legati sia al possesso che all'affitto dell'abitazione, e tutti i costi annessi (consumo elettricità, consumo acqua ecc.).

Il valore del termine "reddito" da usare nell'elaborazione è ottenuto a partire da tre variabili indipendenti relative alle caratteristiche degli abitanti dell'area presa in esame (che saranno illustrate nel paragrafo pertinente).

Più complessa è, invece, la sezione dell'indice relativa ai costi di trasporto. Nello studio considerato ("The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice", Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006), essi sono infatti il risultato di un'analisi in cui viene descritta la relazione tra sei variabili indipendenti riferite alle condizioni dell'area per la quale viene effettuata l'operazione e tre variabili dipendenti (proprietà dell'auto, uso dell'auto e l'utilizzo delle reti di trasporto) che verranno elencate e descritte nel prossimo paragrafo.

Questi ultimi tre dati vengono moltiplicati con un opportuno peso (rispettivamente: numero di auto, distanze percorse e frequenza dei viaggi) per ottenere il costo imputato alle attività di trasporto.

La formula è la seguente:

$$\text{Costi trasporto} = [C_{AO} * F_{AO}(X)] + [C_{AU} * F_{AU}(X)] + [C_{TU} * F_{TU}(X)]$$

*Formula 8.2*

Dove:

C = Costi (per esempio, dollari per miglia percorse)

F = funzione delle variabili indipendenti:  $F_{AO}$  è la funzione legata al costo del possesso dell'auto (Auto Ownership),  $F_{AU}$  è legata all'uso dell'auto (Auto Use) e  $F_{TU}$  è legata all'uso delle reti di trasporto (Transit Use).

### **Variabili Indipendenti per la determinazione dei costi di trasporto: Caratteristiche dell'Area**

#### Densità di residenza

Rappresenta la densità abitativa intesa come rapporto tra il numero di abitanti e la porzione di area adibita ad uso residenziale, e non dell'intera area presa in esame.

#### Densità totale

Consistente nel rapporto tra il numero di abitanti e l'area totale della zona.

#### Block Size Average

E' una misura che permette di stabilire quanto sia più conveniente compiere un tragitto a piedi o in bici piuttosto che in automobile. Rappresenta il livello di connessione tra le aree e la presenza di aree precluse al traffico, che influenzano le modalità di spostamento.

#### Transit Connectivity Index / Transit Access Index

La presenza di trasporti pubblici può essere definita in due modi. Quando i dati sono disponibili, viene usato il Transit Connectivity Index (TCI). In questo indice, i servizi di trasporto sono calcolati come numero

di bus in servizio e di stazioni ferroviarie situati ad una certa distanza (percorribile a piedi) dalle abitazioni (rispettivamente, un quarto di miglio per i bus e mezzo miglio per le stazioni) che si trovano nelle zone analizzate. Tali zone vengono classificate in corrispondenza della frequenza dei servizi di trasporto.

L'indice rappresenta, quindi, il numero di corse medio per settimana disponibile per gli abitanti della zona considerata.

Qualora non fossero disponibili i dati per il calcolo del TCI, è possibile ricorrere al Transit Access Index (TAI). Come il TCI, il TAI calcola il numero di bus in servizio ed il numero di stazioni ferroviarie poste ad una distanza percorribile a piedi (sempre i relativi quarto di miglio e mezzo miglio) dalla zona analizzate. L'analisi si esaurisce qui, senza tener conto della frequenza dei servizi.

#### Employment Access Index

Valuta l'accessibilità dei luoghi di lavoro valutandone sia il loro numero, sia la loro distanza dalla zona presa in esame dall'Affordability Index.

Utilizzando un modello gravitazionale, viene effettuato il rapporto tra la somma di tutti i posti di lavoro e la distanza elevata al quadrato di ognuno di essi dalla zona presa in esame. Questo permette di valutare sia la presenza di luoghi di lavoro, che la loro accessibilità.

$$E \equiv \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{r_i^2}$$

Formula 8.3

Dove:

E= "employment proximity", ovvero prossimità del luogo di lavoro;

n = numero di abitazioni censite nella zona;

$p_i$  = numero di lavori nell'i-esima zona considerata;

$r_i$  = distanza tra il centro della data area della città e il centro dell'i-esima zona presa in esame.

#### Average Journey to Work Time

Come dice il nome, è il tempo medio (espresso in minuti) impiegato per raggiungere il luogo di lavoro da parte degli abitanti della zona esaminata, che può essere poi distinto nel caso dei lavoratori pendolari che usano il trasporto pubblico o meno.

#### Variabili dipendenti per la determinazione del costo dei trasporti

##### Possesso dell'auto

Viene calcolata come la media di veicoli per unità di spazio abitativo edificato nella zona presa in esame.

## Uso dell'auto

Può essere espresso sia in termini di numero totale di abitanti della zona che utilizzano l'auto, che come lunghezza dei tragitti percorsi dalle automobili guidate dagli stessi abitanti.

## Utilizzo delle reti di trasporto

Viene intesa come percentuale di pendolari dell'area che usa il trasporto pubblico.

### **Variabili indipendenti: caratteristiche degli abitanti**

Esse sono: il reddito medio nell'area considerata dall'analisi, la mediana dei redditi dell'area, l'occupazione media del territorio da parte delle aree edificate e il numero medio di persone (per famiglia) con più di 16 anni che lavora, ma non nell'area esaminata (cioè il numero medio di pendolari per ogni famiglia).

Tutte queste variabili sono calcolate come media rispetto all'area sotto esame.

### **Calcolo dei costi legati al trasporto**

Ognuna delle variabili dipendenti viene determinata separatamente.

#### Costi da possesso dell'auto

I costi da possesso dell'auto, per le finalità dell'analisi, sono assunti come: deprezzamento del valore dell'auto nel corso del tempo, costo delle assicurazioni, costo del carburante, manutenzione e riparazioni. Tutti sono riportati come costi medi per miglia percorse.

Questa stima non tiene conto di fattori come l'aumento generale dei costi dovuti al possesso di un'automobile vecchia, o il tradoff tra il minor deprezzamento del valore dell'auto e aumento dei costi di manutenzione con l'invecchiamento delle macchine.

Tali informazioni sono però difficilmente reperibili. Nel modello esaminato ("The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice", Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006) è possibile utilizzare dati meno raffinati senza inficiare la bontà dell'analisi.

#### Costi da uso dell'auto

Sono i costi dovuti all'uso del combustibile, alla manutenzione ed alle riparazioni.

Questi costi vengono rapportati alle miglia percorse e quindi applicate nel modello in proporzione alla lunghezza media (sempre in miglia) dei tragitti degli abitanti dell'area sotto esame.

#### Costi da utilizzo del trasporto pubblico

Vi sono due modi per poter stabilire l'entità di questi costi.

Il primo, da preferirsi quando sono disponibili i dati che permettono di utilizzarlo, consiste nello stabilire le entrate totali derivate dal trasporto pubblico. Il dato sulle entrate è aggregato a livello urbano, per cui deve essere poi disaggregato in maniera proporzionale alle aree metropolitane di interesse sulla base del numero di pendolari che risiedono nelle diverse zone.

Se il dato sulle entrate non è disponibile, viene usato quello sul numero di corse del trasporto pubblico, moltiplicando questo dato per la tariffa media in modo da ottenere le entrate totali. Sfruttando la proporzione dei pendolari fra le varie aree urbanizzate si ottiene la proporzione delle corse usate dai pendolari di ogni zona, ed è così possibile stabilire le entrate totali del trasporto pubblico. Anche qui, in presenza di un dato normalmente espresso a livello urbano, c'è la necessità di disaggregarlo (sempre in proporzione al numero di pendolari presenti nell'area) al livello dell'area presa in considerazione.

### **Calcolo dei costi legati all'abitazione**

Per questo tipo di costi, bisogna effettuare una distinzione tra i costi legati al possesso della casa e i costi per gli affittuari.

Per quanto riguarda i primi, essi sono costituiti dalla somma degli eventuali pagamenti per le ipoteche, i contratti d'acquisto e, in generale, tutte le spese legate alla proprietà (inclusi i mutui per la casa); le tasse sul patrimonio; le assicurazioni sui rischi di incendio, allagamento e i rischi in genere; le risorse usate dall'abitazione (elettricità, gas, acqua) ed i costi per il riscaldamento. Viene tenuto anche conto delle spese condominiali.

Tutte queste voci di spesa sono intese come costi medi mensili.

Nel caso degli affittuari, viene tenuto conto, oltre che dell'onere del contratto di affitto, i costi delle risorse usate dall'abitazione (sempre elettricità, gas e acqua) ed i costi del riscaldamento, se tutti questi costi sono sostenuti del tutto o in parte dall'affittuario.

Anche qui, si parla sempre in termini di costi medi mensili.

## Il Consumo di Zona

Un altro indice che permette di valutare la sostenibilità energetico-ambientale di un'area è il Consumo di Zona (CdZ).

Tale indice (anch'esso areale) si connota per il fatto di non essere limitato alla sola tematica ambientale, ma di considerare anche alcuni aspetti che concorrono alla definizione di "sostenibilità": efficienza energetica degli edifici, sistema di trasporto pubblico funzionante e non inquinante, distribuzione di servizi tale da limitare gli spostamenti degli utenti, riduzione dei consumi, partecipazione dei cittadini alla progettazione, possibilità anche per i meno abbienti di disporre di un alloggio di buona qualità a prezzi calmierati ecc.

In particolare, nella versione analizzata ("Misurare la sostenibilità con il CdZ", Mugnaini e Pozzoli, 2011), sono presi in considerazione, come illustrato più avanti, i consumi energetici residenziali e i costi legati ai trasporti.

Il CdZ permette di sintetizzare in un unico indice tutte queste esigenze. Esso tiene conto di tutti i consumi derivanti dalle specifiche caratteristiche sociali ed urbanistiche, ovvero la somma dei consumi del settore edilizio (residenziale e non) e di quelli legati al trasporto da e verso i "centri di gravitazione" della zona, intesi come le aree su cui gravita la popolazione per motivi scolastici e di lavoro o per funzioni specifiche.

Come nell'AI, la decisione di considerare i consumi energetici su scala areale non è l'unica percorribile per poter analizzare i consumi energetici legati a trasporti ed abitazioni, ma appare la migliore per un'applicazione nel contesto urbano.

Il calcolo del CdZ viene espresso nella seguente equazione:

$$CdZ = A_1 + A_2 + \sum CG (B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5) * K_C * K_G$$

*Formula 8.4*

Dove:

CG = Centri di Gravitazione della zona;

A = Consumi riconducibili al settore edilizio (differenziando tra edilizia residenziale e non);

B = Consumi riconducibili al settore dei trasporti.

Come unità di misura sono usati i kWh/(abitante\*anno).

### Consumo Edilizio

Il fabbisogno energetico per il settore edilizio viene calcolato, in prima analisi, operando per analogia in base all'età degli edifici presenti nella zona; in una fase successiva ("Misurare la sostenibilità con il CdZ", Mugnaini e Pozzoli, 2011) si può "tarare" il valore attingendo dal Catasto Energetico. Il consumo energetico, sempre espresso in kWh/anno, è dato dal prodotto della superficie riscaldata e del consumo specifico in m<sup>2</sup> (volumetria e consumo specifico al m<sup>3</sup> se si tratta di edifici non residenziali). Per il settore edilizio residenziale e non-residenziale vengono calcolati, rispettivamente, i parametri A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, ottenuti dividendo il consumo energetico per il numero di abitanti della zona.

### **Consumo dovuto ai trasporti**

La somma dei contributi dovuti al settore dei trasporti deve essere corretta tramite due fattori moltiplicativi KC e KG, che tengono conto, rispettivamente, della distanza della zona dal suo (o dai suoi) centro di gravitazione e delle condizioni geografiche della zona.

Il primo fattore, KC, tiene in considerazione la penalizzazione intrinseca di una zona distante dal suo centro di gravitazione rispetto ad un'altra molto più vicina. In particolare, il suo valore cresce all'aumentare della distanza.

Il secondo fattore, KG, tiene conto delle condizioni geografiche della zona: esso favorirà le zone che si trovano in pianura, senza ostacoli di tipo orografico (fiumi, laghi, colline ecc.) che si interpongono tra essa ed il centro di gravitazione. Tanto maggiore è il numero di questi ostacoli, tanto maggiore sarà il valore di questo parametro.



## Confronto Affordability Index-Consumo di Zona

La differenza immediatamente riscontrabile tra i due indici presi in esame è la grandezza che entrambi rappresentano: uno, l'AI, indica i costi legati alla residenza in una determinata area (come rapporto tra spese e guadagni mensili), mentre il CdZ riassume i consumi energetici (kWh/abitante\*anno) dovuti allo stabilirsi in una certa zona di una città.

Sebbene i costi e i consumi energetici siano intuitivamente correlati e correlabili, appare comunque evidente la forte differenza che bisogna tenere in considerazione nella scelta se trattare gli uni o gli altri.

In ultima analisi, il CdZ stabilisce se chi vive in un certo posto, assumendo una mobilità implicita rappresentativa, è più o meno “energivoro” di chi vive in un altro posto. Permette di quantificare l'impatto sociale che hanno questi consumi, in termini di energia. L'AI, invece, è una misura del peso che vivere in un certo posto ha sul reddito personale considerando abitazione e trasporti (sempre assumendo una mobilità implicita rappresentativa). È una misura “privata”, che interessa il singolo cittadino, almeno in prima istanza.

Si ricordi, inoltre, che l'AI rapporta i costi legati alle abitazioni e ai trasporti col reddito medio dell'area presa in esame. Esso, quindi, fornisce l'informazione dell'impatto che hanno questi costi sul bilancio economico di una famiglia. Il CdZ, invece, si limita ad effettuare una somma pesata delle voci che concorrono al consumo di energia.

Il CdZ viene usato, quindi, per valutare la sostenibilità di un'area dal punto di vista energetico, mentre l'AI è un indicatore più ampio, che traduce in termini monetari le spese energetiche e le somme ad altri costi espressi nella medesima unità di misura. Ne risulta che l'AI è un indicatore con una maggiore visione d'insieme, visti i suoi risvolti economici e sociali.

Due principi comuni ad entrambi gli indici sono i seguenti:

- 1) Le abitazioni sono considerate “localizzate efficientemente” quando hanno sistemi di trasporto convenienti ed accessibili, o sono nelle prossimità di aree di lavoro e di servizio;
- 2) Gli abitanti che risiedono in aree “localizzate efficientemente” posseggono meno veicoli e con essi intraprendono percorsi più brevi, e quindi hanno minori spese legate ai trasporti.

Questo rende ipotizzabile una relativa sovrapposizione tra i due indici. Questo rende ipotizzabile una relativa sovrapposizione tra i due indici. Va sottolineato, però, che l'AI si confronta con la relazione tra accessibilità e valori immobiliari e non è perciò detto che una zona più accessibile abbia un AI migliore perché dipende da come varia il costo di abitazione con l'accessibilità. Per il CdZ, invece, una migliore accessibilità è sempre un vantaggio.

Dal punto di vista delle politiche, il CdZ aiuta a valutare l'impatto di politiche tese a migliorare l'efficienza energetica, ma trascura gli eventuali (probabili) effetti che queste politiche possono avere sulle tasche delle famiglie sul lato della rendita immobiliare. L'AI invece tiene conto di tutti questi aspetti ed è quindi sensibile a politiche tese a cambiare i costi di trasporto (infrastrutture, tassazione) sia a politiche relative ai costi abitativi (efficienza energetica, social housing, tassazione degli immobili) con la pianificazione territoriale come politica comune

Scendendo nei dettagli, vengono ora valutate similitudini e differenze per ciascuno dei macro addendi che implementano i due indici: i costi (monetari o energetici) legati alle abitazioni e quelli legati ai trasporti.

Per i primi, si nota che il CdZ valuta esclusivamente i costi legati al riscaldamento delle case (quindi non il totale dei costi energetici), mentre nell'AI si utilizzano tutti i costi legati all'abitazione: gas, ma anche acqua, elettricità, i mutui o gli affitti, le spese condominiali ecc. Il livello di sovrapposizione tra i due indici è dunque parziale.

Passando ad esaminare i trasporti, si può notare una situazione molto simile: se nel CdZ compaiono solo i termini legati al dispendio di energia legato all'uso dell'automobile, nell'AI, ancora, si tiene conto di un maggior numero di variabili, dal costo delle assicurazioni, alla manutenzione, fino al deprezzamento del valore dell'automobile.

Valutando elemento per elemento, si può notare che variabili come la densità di residenza, la densità totale, la presenza e l'utilizzo di mezzi pubblici, il possesso dell'auto sono contemplate dal solo AI (a conferma di una maggior carica informativa).

L'attenzione ai centri di gravitazione è un tratto in comune ad entrambi gli indici, mentre le condizioni dell'area sono valutate in maniera differente: nell'AI si tiene conto della presenza di zone limitate al traffico, nel CdZ dei differenti dispendi di energia nel caso di tragitto piano o tortuoso. Per un'applicazione ad un contesto urbano appare decisamente più appropriato l'approccio dell'AI.

Va infine fatto notare che entrambi gli indici sono areali, il che rende possibile un loro confronto.

# APPLICAZIONE AL CASO DELL'AREA METROPOLITANA DI MILANO

Nel presente lavoro siamo ricorsi ad una versione differente dell'AI e del CdZ rispetto a quelle di letteratura.

I dettagli operativi sono spiegati nel paragrafo successivo, in questa sezione saranno considerate le implicazioni teoriche.

La prima, ovvia, differenza è che siamo ricorsi ai valori di costo espressi in euro, anziché in dollari, e questa operazione ha interessato anche il Consumo di Zona: se da una parte abbiamo adottato una versione del CdZ coerente con quella presentata da Mugnaini e Pozzoli (2011), e cioè espressa in kWh/mese (la versione originale considerava i kWh/abitante\*anno), abbiamo anche elaborato una versione monetaria dello stesso indice, espressa in €/mese.

La scelta di monetizzare il CdZ è nata soprattutto per poterlo confrontare con l'AI, e per associare la sostenibilità ambientale con quella economica: i cittadini, infatti, compiono scelte sulla base dei costi che sostengono. Come verrà spiegato in questo stesso capitolo, anche l'orizzonte temporale e il riferimento agli abitanti subiscono importanti modifiche.

Per l'AI, invece, la formula non varia, rimanendo il rapporto tra la somma dei costi legati alle abitazioni e quella sui trasporti e il reddito del residente che deve sostenerli (formula AI, in fase di revisione le numererò in modo da poterle richiamare).

Ci siamo avvalsi di valori di costi e tempi di trasporto già noti (vedi capitolo 11 relativo al modello del nodo di Milano). Questo dato ha rappresentato un forte vantaggio nell'elaborazione: non è stato infatti necessario reperire dati riguardanti le voci componenti i costi dei trasporti (centri di gravitazione, considerazione di zone precluse al traffico, spese legate al possesso dell'auto ecc.) poiché erano già racchiuse nel dato del costo di trasporto in nostro possesso. Le formule di letteratura dell'AI e del CdZ si rifacevano a quel tipo di elaborazioni poiché non potevano contare sulla conoscenza dei flussi di domanda e dei relativi costi.

I costi usati per l'AI includono anche il valore del tempo, ragion per cui questo dato si presenta come costo generalizzato, e non come costo puro. Per il CdZ, invece, si è fatto riferimento ai soli costi per i tragitti che avvengono tramite automobile, poiché per altre modalità di viaggio è arduo stabilire il consumo energetico imputabile al singolo utente.

Per quanto riguarda i costi residenziali, essi sono limitati ai costi mensili (e non annui, come voleva la formulazione del CdZ di Mugnaini e Pozzoli, 2011) sostenuti per il pagamento degli affitti e ai costi dovuti al consumo di energia (sempre espresso sull'orizzonte mensile). Vista l'impossibilità di ottenere il dato sui consumi energetici di un'intera area della città di Milano per poi dividere tale valore per il numero di abitanti della zona (come avrebbe suggerito la formulazione del CdZ presentata da Mugnaini e Pozzoli, 2011), abbiamo elaborato delle ipotesi sui consumi energetici, suddividendo le residenze in ragione della classe energetica di appartenenza, associando ad ogni classe un valore di consumo energetico legato al solo riscaldamento domestico. Così facendo si è presa in considerazione una singola famiglia che abita in una data area, e non l'area nel suo complesso. I costi legati al consumo dell'acqua e dell'elettricità non sono

stati considerati, dal momento che non incidono ai fini della classificazione delle aree (sono costanti per ognuna delle aree prese in esame).

La definizione del CdZ proposta dagli autori presi in considerazione si limitava a questa voce di costo, mentre la formulazione originaria dell'AI prevedeva l'inclusione anche di altri costi, come i costi legati all'uso dell'energia elettrica e dell'acqua, che sono stati invece ignorati nel lavoro svolto.

Anche per quanto concerne in reddito si è ricorsi ad una semplificazione: è stato preso in considerazione il reddito di un singolo abitante, invece che effettuare la media dei redditi per ogni singola zona studiata.

Sia per quanto riguarda i costi energetici e legati alle abitazioni che per quelli legati all'uso dell'automobile si è scelta, quindi, una strada semplificata, ovvero quella di inserire nei due indici gli stessi parametri in modo da rendere possibile un loro confronto. In pratica, nell'elaborazione svolta, l'unica reale differenza tra CdZ e AI è che in quest'ultimo sommiamo anche i costi mensili degli affitti e rapportiamo tutto rispetto al reddito mensile.

	AI		CdZ		
	Originale	Presente	Originale	Presente - Energetico	Presente - Monetario
<b>Unità di misura</b>	-	-	kWh/(ab*anno)	kWh/mese	€/mese
<b>Orizzonte temporale</b>	mese	mese	anno	mese	mese
<b>Valore del tempo</b>	Non considerato	Considerato	Non considerato	Non considerato	Non considerato

*Tabella 9.1 – Caratteristiche degli indici AI e CdZ*

E' stato inoltre elaborato un nuovo indice, chiamato "Indice Unico", in tutto identico all'AI, salvo per il fatto di escludere, nella sua formulazione, il costo legato al tempo, e di non rapportare la somma dei costi al reddito. Questa scelta è stata fatta per ragioni di coerenza e semplicità: il tempo è infatti difficilmente monetizzabile, e tramite l'Indice Unico si vanno a svolgere calcoli realmente coerenti in termini di unità di misura. Così facendo si perde, ovviamente, anche la differenziazione legata al reddito.

# COSTRUZIONE DEGLI INDICI PER IL CASO APPLICATIVO

Di seguito sono riportate le operazioni preliminari all'implementazione degli indici.

## Consumi energetici

Sono state prese in considerazione, per quanto riguarda gli edifici, sette classi energetiche, ad ognuna delle quali è stato associato un consumo energetico annuo espresso in kWh/m<sup>2</sup> (inteso come range di valori da un consumo massimo ad un minimo riferito per quella classe energetica).

È stato poi calcolato il consumo medio annuo (media degli estremi del range di valori, per l'ultima classe è stato scelto un valore di 220 kWh/m<sup>2</sup>).

Noti il prezzo per chilowattora del metano (0,076 €) e la superficie media per appartamento (100 metri quadri) è stato possibile ricavare il costo mensile medio per ogni classe energetica moltiplicando gli ultimi due valori riportati con il consumo medio annuo e poi il consumo mensile.

Tale dato funge da input sia per l'Affordability Index che per l'Indice Unico ed anche per la versione "monetaria" del Consumo di Zona (espresso in €/mese).

Per il Consumo di Zona espresso in kWh/mese, invece, è stato fatto riferimento ad un valore di consumo dell'energia espresso con la stessa unità di misura, e ricavato dalla media dei consumi annui per m<sup>2</sup>, moltiplicata per 100 m<sup>2</sup> (ancora la superficie media di un appartamento) e divisa per 12 (il numero di mesi in un anno).

Classi energetiche	Consumi annui	Media consumi	Costi medi annui metano	Costi medi mensili metano	Consumi energetici medi mensili metano
	kWh/m <sup>2</sup>	(kWh/anno*m <sup>2</sup> )	(€/anno)	(€/mese)	(kWh/mese)
A	15-30	22,5	171	14	188
B	30-50	40	304	25	333
C	50-70	60	456	38	500
D	70-90	80	608	51	667
E	90-120	105	798	67	875
F	120-160	140	1064	89	1.167
G	>160	220	1672	139	1.833

*Tabella 10.1 – Consumi energetici abitazioni di Milano*

## Costi di trasporto

La prima elaborazione di dati è stata effettuata su una tabella riassuntiva dei flussi di persone che transitano tra le diverse aree di Milano.

Suddivisa la città di Milano in diverse aree (37, di cui 7 senza dati relativi ai trasporti, che sono quindi state ignorate), si hanno quindi i dati relativi a:

- 1) La destinazione (intesa come area della città considerata come meta del proprio tragitto) dell'abitante residente in una determinata zona della città;
- 2) Il mezzo usato per compiere il viaggio (automobile, trasporto pubblico urbano o extraurbano, treno);
- 3) Distanza percorsa nello spostamento;
- 4) La somma degli spostamenti (effettuati con un certo mezzo di trasporto) che da un'area ne raggiungono un'altra;
- 5) Il tempo impiegato per raggiungere un'area di Milano partendo da un'altra area della città per lo specifico mezzo di trasporto usato;
- 6) Il costo del viaggio, sempre tra due aree, e sempre considerato un certo mezzo di trasporto usato.

Le elaborazioni svolte su questi dati sono rivolte all'ottenimento di un dato (il costo generalizzato medio degli spostamenti che partono da una zona origine rispetto a tutte le possibili destinazioni) che fungerà da input per gli indici Affordability Index ed Indice Unico ed anche per il Consumo di Zona, che ha però input diversi, la cui costruzione sarà illustrata alla fine di questo paragrafo.

Per ottenere una media pesata dei costi sostenuti dagli abitanti di una certa zona di Milano per i trasferimenti verso altre aree sono state svolte le seguenti operazioni:

- 1) Si è eseguito il prodotto, per ogni viaggio (inteso come viaggio da un'area ad un'altra, per ogni singolo mezzo di trasporto), della somma degli spostamenti totali dall'origine alla destinazione e il tempo impiegato per percorrere tale viaggio;
- 2) Viene svolta la stessa operazione del punto 1, sostituendo il tempo con il costo di viaggio;

Svolte queste operazioni, i risultati relativi ad ogni zona vengono sommati. E' ora possibile ottenere la media pesata degli spostamenti, dividendo questi ultimi due dati per la somma degli spostamenti totali che partono dalla stessa zona.

Si ottengono così il tempo ed il costo medio di trasporto per tutte le singole zone origine rispetto a tutte le destinazioni che da esse sono raggiunte.

Per ottenere il costo complessivo di spostamento è necessario aggregare i due valori (tempo e costo) in modo da avere un'unica voce da inserire negli indici, differenziando i costi di trasporto complessivi in base al reddito.

Sono state stabilite due ipotesi: una categoria di passeggeri che ha come valore del tempo 9 €/h e guadagna 1.500 euro al mese e una categoria che ha come valore del tempo 20 €/h e guadagna 3.500 euro al mese.

Per ottenere i costi di trasporto (espressi in €/mese) si sono tenuti in considerazione 20 giorni lavorativi al mese; è stata quindi prima svolta la somma tra il prodotto del costo medio (espresso, si ricorda, in

€/viaggio) per 20 giorni/mese tenendo in considerazione un viaggio al giorno ed il prodotto e il tempo medio (espresso in ore/viaggio) moltiplicato per 20 (sempre giorni/mese) e per 9 €/h per i redditi bassi e 20 €/h per i redditi alti, sempre considerando un viaggio al giorno. Infine, tale somma è stata moltiplicata per due per tenere conto del viaggio di ritorno.

Per la costruzione dell'input per il Consumo di Zona è stata svolta una procedura simile, ma limitata ai soli viaggi effettuati con automobile, e tenendo in considerazione le distanze, e non il costo ed il tempo.

Il risultato della media pesata (espresso in km/mese) viene moltiplicato per il consumo energetico per km (0,6 kWh/km) per ottenere l'input del Consumo di Zona espresso in termini di consumi energetici. Per la versione del CdZ espresso in termini economici (€/mese) è stato effettuato il rapporto tra il valore della distanza media percorsa mensilmente dai cittadini di ogni zona (km/mese) per il numero di chilometri coperti con un litro di benzina (15 km/l) moltiplicando il risultato per il prezzo della benzina (assunto pari a 1,85 €/l).

### **Quotazioni immobiliari**

Dopo aver ottenuto i costi di trasporto, è necessario ricavare il secondo dato con ruolo di input usato nell'Affordability Index e nell'Indice Unico (e non, invece, nel Consumo di Zona), e cioè il valore del costo degli affitti per ogni area in cui abbiamo suddiviso la città di Milano.

La difficoltà maggiore trovata in questa fase è stata il fatto che i dati del catasto milanese riferivano i costi degli affitti a delle aree diverse rispetto a quelle per cui si sono analizzati i flussi di persone. In particolare, il catasto suddivide Milano in più aree rispetto a quelle relative ai trasporti. E' stato allora necessario effettuare una media degli affitti (a loro volta intesi come valore medio tra il costo più alto e il costo più basso di una zona del catasto) tra le diverse aree catastali che, insieme, andavano a comporre le aree (inferiori di numero, e quindi più grandi e comprensive delle prime).

Si ottiene così un valore del costo degli affitti (espresso in €/m<sup>2</sup>xmese) unico per ogni zona, inseribile nell'Affordability Index e nell'Indice Unico dopo essere stato moltiplicato per un valore di 100€/m<sup>2</sup> (preso come superficie media delle abitazioni), in modo da ottenere un valore in €/mese omogeneo con gli altri termini che costruiscono l'indice.

I risultati delle elaborazioni sono riassunti nelle seguenti tabelle.

Zona	Affitti	Costo Generalizzato Trasporto Reddito basso	Costo Generalizzato Trasporto Reddito alto	Consumo Energetico Trasporto Automobile	Spesa Trasporto Automobile
	€/mese	€/mese	€/mese	kWh/mese	€/mese
1	9	233,9834	478,5005	270,336	55,56906129
2	6,25	247,9239	502,1273	291,6252	59,94517786
3	14,825	215,2412	435,8066	295,4093	60,72301938
4	10,125	255,02	517,8487	270,3623	55,57447189
5	6,25	253,7289	520,5573	279,8304	57,52069894
7	12,7	213,7137	434,2965	289,4573	59,49954623
8	10,75	244,2479	495,8996	276,998	56,93847526
9	7,125	243,867	489,2301	343,43	70,59393678
13	8,25	229,4626	471,6568	252,1953	51,84015165
14	7,875	244,5165	499,6757	319,7895	65,73450292
15	6,25	243,4265	498,4406	305,2973	62,75555846
18	7,25	245,4131	494,0909	304,1975	62,52949304
19	5,25	230,9743	467,4549	320,5701	65,89497502
20	22,8125	231,5586	466,3436	314,8065	64,71022097
21	15,75	228,6013	466,5866	285,3819	58,66184094
22	9,75	235,5739	479,3713	284,2195	58,42290512
23	8,25	242,5428	499,4651	263,3693	54,13702986
24	11,875	226,7597	459,5791	312,2223	64,17903555
25	9	250,4242	513,1622	289,5774	59,52423673
26	7	245,7858	500,5047	314,5624	64,66005074
27	6,75	259,2055	527,2795	292,8027	60,18722495
28	6,5	254,3667	519,5607	275,9261	56,71814028
29	17,75	224,3113	455,5616	287,9578	59,19131762
30	9,75	210,0971	427,852	277,9185	57,12769692
31	7,5	243,1695	496,179	313,8088	64,50513561
33	8	257,2495	528,0146	308,5447	63,42307289
34	11,25	229,0645	466,0828	342,7314	70,45034757
35	7	251,4252	505,0219	303,2764	62,34015608
36	9	230,9129	471,197	294,7288	60,5831349
37	6,5	246,2807	502,1103	259,2043	53,28089362

Tabella 10.2 – Affitti e Costi di Trasporto abitazioni di Milano



Valori medi:

<b>Affitti</b>	<b>Costo Generalizzato Trasporto Reddito Basso</b>	<b>Costo Generalizzato Trasporto Reddito Alto</b>	<b>Costo Monetario Trasporto</b>	<b>Consumo Energetico Trasporto Automobile</b>	<b>Spesa per la Benzina per Trasporto Automobile</b>
<b>€/mese</b>	<b>€/mese</b>	<b>€/mese</b>	<b>€/mese</b>	<b>kWh/mese</b>	<b>€/mese</b>
9,54	238,96	486,31	36,58	294,68	60,57

*Tabella 10.3 – Valori medi di affitti e costi di trasporto per la città di Milano*

# IL MODELLO DEL NODO DI MILANO

In questo capitolo saranno presentate le fonti utilizzate per calcolare gli indici. In particolare, verrà descritto il modello del nodo di Milano (da cui sono stati attinti i dati relativi ai trasporti) e sarà riportata la fonte da cui sono stati tratti i valori immobiliari.

Il modello del nodo di Milano è un modello di trasporto che ha lo scopo di rappresentare le caratteristiche della mobilità nell'area metropolitana milanese, con una particolare attenzione ai percorsi effettuati in maniera multimodale (ovvero ricorrendo a più tipologie di trasporto). Il modello è stato costruito partendo dal seguente documento: "Availability and Utility of Analytical Techniques. Milestone 2.4 of INTERCONNECT", Co-funded by FP7. TRT Trasporti e Territorio, Italy, de Stasio, Martino, Fiorello, 2009).

## Sistema di zonizzazione

Visti i propositi del modello, la zonizzazione è relativamente dettagliata: la città di Milano è divisa in 30 zone. I grandi nodi del trasporto urbano (come le stazioni ferroviarie) risultano localizzate in differenti zone, in modo da simulare trasporti tra questi nodi (e, conseguentemente, tra le zone che li comprendono).

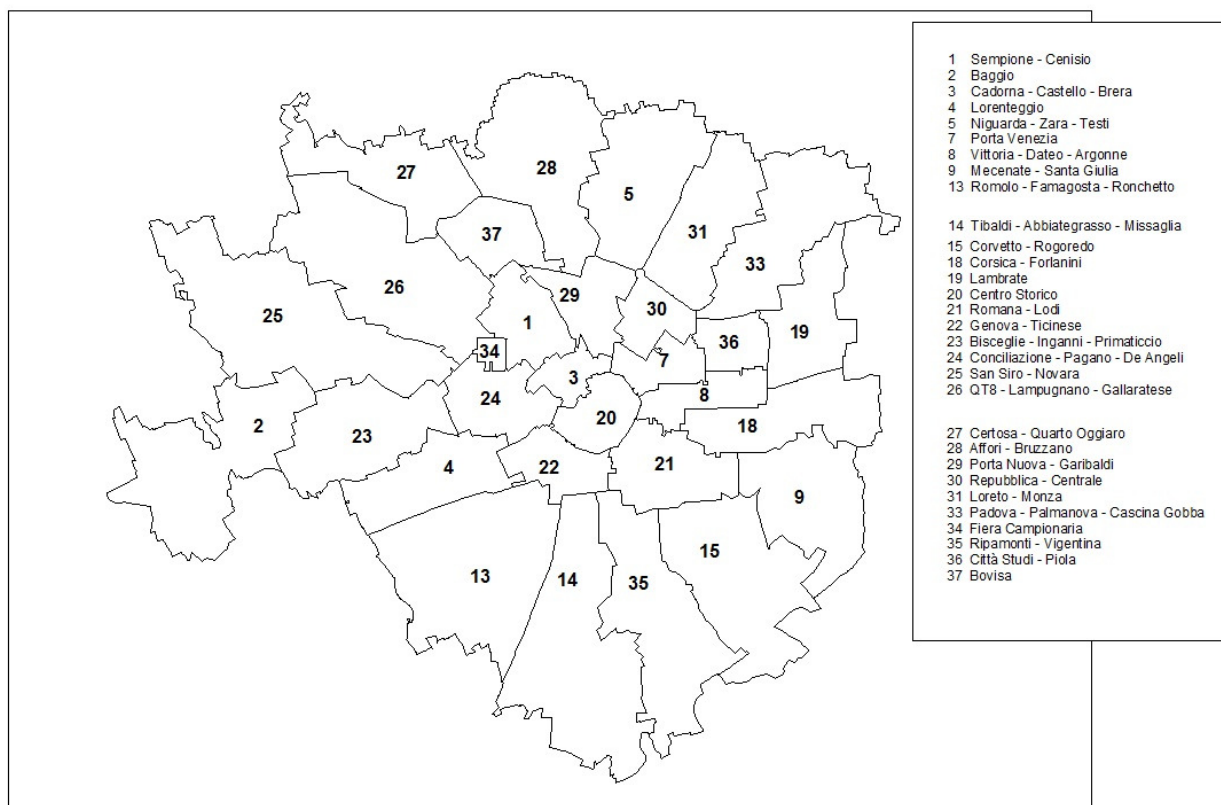


Figura 11.1 – La zonizzazione della città di Milano

Anche l'hinterland di Milano (compresa anche la provincia di Monza e Brianza) è divisa in 76 zone. I singoli comuni sono le unità base della zonizzazione dell'hinterland, ma in alcuni casi sono stati tenuti conto di altri dettagli per rappresentare meglio l'accessibilità ai servizi ferroviari. Le altre province lombarde sono considerate come singole zone (una provincia = una zona). La mobilità interna a queste province non è di

interesse per il modello. Infine, quattro zone particolari (chiamate “Zone Esterne”) sono considerate per rappresentare origini e destinazione esterne alla città di Milano: tali zone fanno riferimento ai 3 aeroporti milanesi (Linate, Malpensa, Orio al Serio) e alla stazione di Milano Centrale.

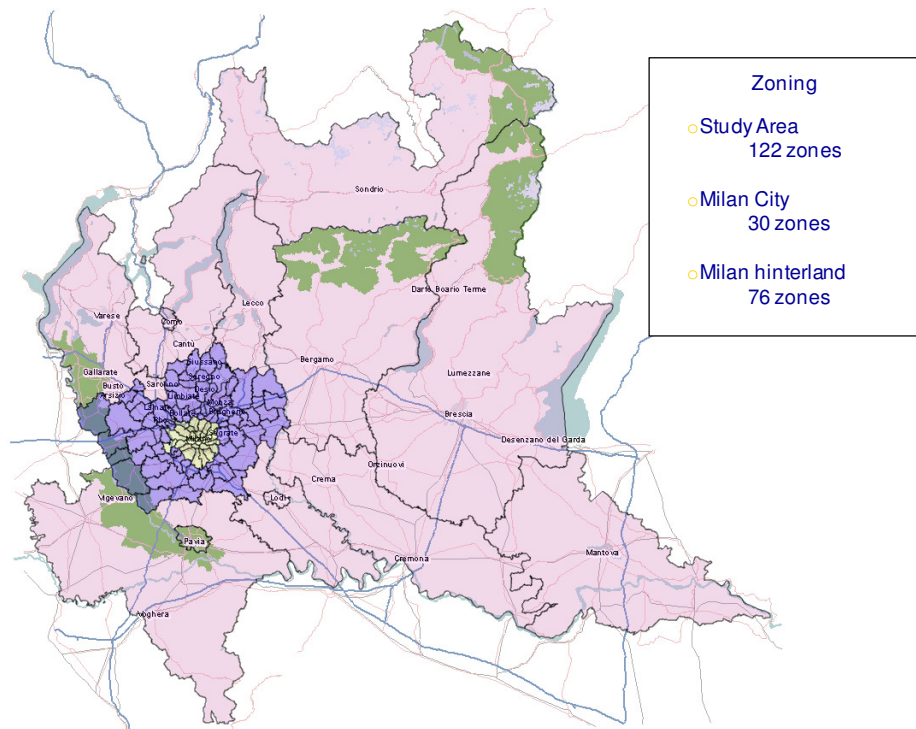


Figura 11.2 – Zonizzazione dell’hinterland di Milano

## Descrizione della domanda di trasporti

Il modello simula le esigenze di trasporto dei passeggeri da/per/attraverso l’area studiata. Viaggi brevi in cui la destinazione è nella stessa zona dell’origine non sono considerati dal modello. Così come i viaggi tra le province non sono considerati dal modello se non facenti uso di infrastrutture e servizi del nodo di Milano. Per esempio, un viaggio tra Bergamo e Varese è considerato dal modello, mentre uno viaggio tra Brescia e Mantova no. Anche il trasporto merci non è considerato.

La domanda dei passeggeri è inserita nel modello nei termini di una matrice origini/destinazioni di percorsi individuali che si verificano nell’orario di punta del mattino (8.00-9.00). Sono considerate 8 matrici corrispondenti a 8 suddivisioni delle tipologie di viaggio, riportate nella tabella 11.1:

Tipologia di viaggio	Descrizione
Viaggi di lavoro	Viaggi di lavoro all'interno delle zone dell'area esaminata
Pendolarismo (lavoro)	Viaggi dei lavoratori pendolari all'interno delle zone dell'area esaminata
Pendolarismo (educazione)	Viaggi dei pendolari per ragioni di studio all'interno delle zone dell'area esaminata
Altre tipologie di viaggio interno	Altre tipologie di viaggio all'interno delle zone dell'area esaminata
Viaggi di lavoro verso altre zone	Viaggi di lavoro da o verso zone esterne rispetto all'area esaminata
Altre tipologie di viaggio esterno	Viaggi non di lavoro da o verso zone esterne rispetto all'area esaminata
Viaggi di lavoro attraverso	Viaggi di lavoro tra zone diverse che attraversano l'area esaminata
Altre tipologie di viaggi attraverso	Viaggi non di lavoro tra zone diverse che attraversano l'area esaminata

Tabella 11.1 – Tipologie di viaggio nella città di Milano

Le matrici della domanda di trasporto sono stimate sulla base del già citato lavoro “Availability and Utility of Analytical Techniques. Milestone 2.4 of INTERCONNECT”, Co-funded by FP7. TRT Trasporti e Territorio, Italy, de Stasio, Martino, Fiorello, 2009.

Non sono disponibili dati sui passeggeri che attraversano i nodi (per esempio i viaggiatori in arrivo in aeroporto e che proseguono il viaggio prendendo il treno in stazione, o viceversa). Per questi casi, vengono usati valori ipotizzati. Benché la consistenza di questo tipo di viaggi sia incerta, è comunque certo che è sufficientemente piccola da essere trascurabile per quanto riguarda i problemi di congestione considerati.

## Modalità di trasporto

La domanda è divisa dal modello tra dieci diverse modalità di trasporto: bicicletta, auto, Park and Ride, moto, bus, metro, ferrovie, servizi navetta che collegano gli aeroporti, taxi. La tabella 11.2 integra le tipologie di trasporto con la domanda degli stessi:

Tipologia di viaggio	Auto	Ferrovia	Metro	Park & Ride	Bus Urbani	Bus Interurbani	Servizi Navetta	Taxi	Bicicletta	Moto
Viaggi di lavoro	●	●	●					●	●	●
Pendolarismo (lavoro)	●	●	●	●	●	●			●	●
Pendolarismo (educazione)	●	●	●	●	●	●			●	●
Altre tipologie di viaggio interno	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Viaggi di lavoro verso altre zone	●	●	●				●	●		
Altre tipologie di viaggio esterno	●	●	●		●	●	●	●		
Viaggi di lavoro attraverso		●	●				●	●		
Altre tipologie di viaggi attraverso		●	●		●	●	●	●		

Tabella 11.2 – Tipologie e Modalità di viaggio nella città di Milano

La maggior parte delle modalità considerate possono essere utilizzate in combinazione. Le combinazioni sono considerate dal modello, dal momento che quest'ultimo riconosce le differenti fasi del viaggio.

## Descrizione offerta di trasporto

Il modello del nodo di Milano rappresenta le offerte di trasporto in due modi. Da un lato, le reti stradali, ferroviarie e metropolitana sono modellati. Dall'altro, i servizi dei treni e delle metropolitane (e dei servizi navetta) sono descritti in base alle loro rotte, ai tempi di percorrenza e alla frequenza delle corse. La figura 10.3 mostra la rete multimodale che implementa il modello:

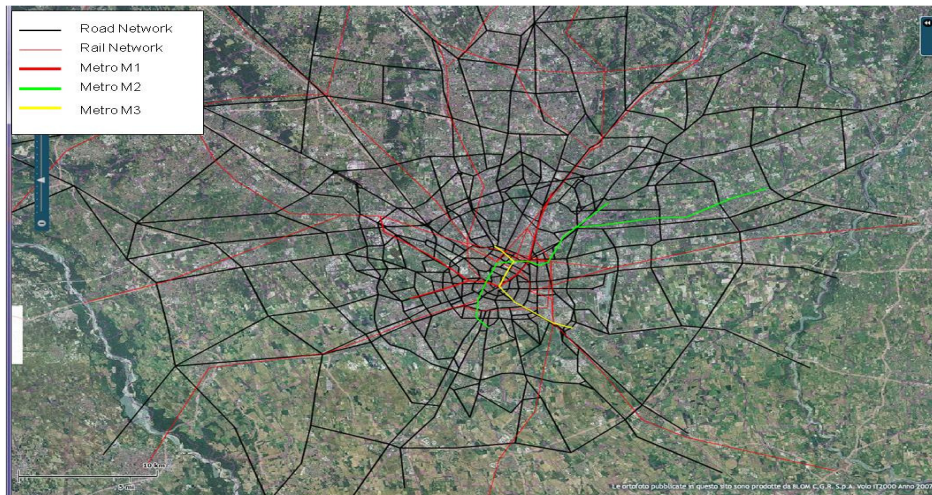


Figura 11.3 – Rete del Modello del Nodo di Milano

### La rete stradale

La rete stradale del modello include tutti i collegamenti principali, più un numero di strade secondarie utilizzate per collegare diverse zone. Strade con connotazione prettamente locale non sono incluse nella rete del modello sotto l'ipotesi che vengano utilizzate per tragitti che partono e terminano nella stessa zona.

I tratti stradali sono suddivisi in diverse tipologie sulla base delle loro caratteristiche, in primis capacità di accogliere mezzi e velocità dei flussi che scorrono su di esse. Alcune strade appartenenti alla stessa categoria possono poi essere differenziate tra di loro sulla base delle proprie specificità locali.

Diversi tipi di collegamento tramite strada sono anche usati per influenzare le possibilità dell'uso della rete per alcune modalità di trasporto. Per esempio, la presenza di corsie preferenziali aperte ai mezzi pubblici e ai taxi, o il divieto di bus interurbani di transitare all'interno di Milano influenzano le altre modalità di trasporto.

### Parcheggi

Nelle 30 zone in cui è stata suddivisa la città di Milano e nelle zone aeroportuali, le zone di parcheggio (incluse quelle in prossimità delle strade) sono simulate secondo due tipologie: una per il parcheggio a tariffa, l'altra per il parcheggio gratuito. Quest'ultima comprende anche aree di parcheggio irregolari, ma tollerate, che (come noto) sono molto comuni a Milano.

La tipologie di parcheggio considerate hanno la capacità di simulare l'effetto sulla congestione del tempo necessario per raggiungere il parcheggio stesso. La capacità dei singoli parcheggi simulati è proporzionale al numero totale di auto ipotizzato per ciascuna zona. Per lo stesso principio, i parcheggi delle aree urbane hanno una quota maggiore di parcheggi a pagamento, al contrario delle zone esterne. Il modello tiene conto del trade-off tra impiegare più tempo per trovare un parcheggio gratuito e pagare per un parcheggio più facilmente disponibile.

### **Treno e Metro**

I servizi metropolitani e ferroviari sono descritti per mezzo delle cosiddette "linee di transito" che forniscono informazioni sul percorso (nei termini di frequenza dei collegamenti), sulle fermate intermedie (per esempio i servizi che si fermano ad ogni stazione sono considerati separatamente da quelli che fermano solamente nelle stazioni principali), la frequenza del servizio (inteso come numero di viaggi) nell'orario di punta mattutino e il tempo di viaggio da una stazione all'altra.

La frequenza di una singola linea di transito è la somma delle frequenze di tutti i servizi su quella linea (se qualche servizio è attivo solo per una parte di una certa linea è considerata una riduzione della frequenza).

L'imbarco sulle linee di transito è modellato per tenere in considerazione del tempo necessario per l'operazione; in caso di affollamento, il modello tiene conto dell'aumento del tempo di imbarco, mentre un'ulteriore "penalità" è aggiunta sul tempo di viaggio per tenere conto della minor qualità del servizio.

### **Servizi navetta da/verso gli aeroporti**

I servizi navetta che collegano la stazione di Milano Centrale con i tre aeroporti milanesi sono modellati come linee di trasporto pubblico.

### **Intermodalità**

Come menzionato precedentemente, le modalità disponibili possono essere utilizzate in diverse combinazioni.

Nel modello, la modalità principale di spostamento è sempre identificata, mentre le altre sono considerate tenendo conto del loro minor contributo (per esempio, possono essere usate per raggiungere una stazione o lasciare una fermata della metropolitana per poi raggiungere la destinazione finale. Alcune modalità, se usate come modalità principale, non consentono l'intermodalità (auto, moto e taxi); tuttavia, queste stesse modalità possono essere a loro volta parte di una catena multimodale, come descritto nella tabella 11.3.

<b>Modalità Principale</b>	<b>Altre modalità utilizzabili</b>
Auto	Nessuna
Ferrovia	Auto (dall'origine alla stazione di partenza)
	Metropolitana
	Bus Urbano
	Bus Interurbano
Metropolitana	Taxi
	Bus Urbano
Metropolitana	Bici (per raggiungere la stazione di partenza, o per arrivare dalla stazione finale alla destinazione finale tramite un servizio pubblicodi prestito delle bici)
Park & Ride	Nessuna
Bus Urbano	Metropolitana
	Bici (per raggiungere la stazione di partenza, o per arrivare dalla stazione finale alla destinazione finale tramite un servizio pubblicodi prestito delle bici)
Bus Interurbano	Metropolitana
	Bus Urbano
	Bici (utilizzabile dall'arrivo alla destinazione finale tramite un servizio pubblico di prestito bici)
Servizio Navetta	Ferrovia
	Metropolitana
	Bus Urbano
	Bus Interurbano
	Taxi
Taxi	Nessuna
Bici	Nessuna
Moto	Metropolitana
	Bus Interurbano

*Tabella 11.3 – Intermodalità di viaggi nella città di Milano*

Sono anche considerati i tragitti a piedi, quando rilevanti, con appositi tempi di percorrenza ed eventuali costi.

### **Parametri del modello**

Il modello del nodo di Milano simula la scelta modale e la scelta del percorso. Entrambi i problemi di scelta sono risolti con un approccio di massimizzazione dell'utilità. Ad ogni alternativa è associato un costo generalizzato di viaggio costituito da due elementi fondamentali: spese di viaggio e tempo di viaggio. Nel caso di ricorso a diverse modalità di trasporto, sono considerati parametri aggiuntivi per tenere conto di disutilità non riconducibili ai semplici costi e tempi di percorrenza.

La formula 11.1 generale per la determinazione del costo complessivo legato ad un viaggio tiene conto delle diverse modalità di trasporto ed è di seguito riportata.

$$\text{GenCost}_{\text{md}} = \text{ModeConst}_{\text{md}} + \text{TravelCost}_{\text{md}} + \text{TravelTime}_{\text{md}} * \text{VOTd}$$

Formula 11.1

Dove:

GenCost = costo generalizzato;

ModeConst = parametro che tiene conto della disutilità legata al ricorrere a diverse modalità di trasporto;

TravelCost = costi legati al trasporto;

Travel Time = tempo di viaggio;

VOT = “Value of Travel Time”, è il costo legato al tempo necessario per compiere il viaggio;

m = generica modalità di spostamento;

d = domanda dello specifico servizio.

### Tempo di viaggio

Diversi tipi di modalità hanno diverse componenti che concorrono alla determinazione dei tempi di viaggio.

La base di partenza, per tutte le modalità, è ovviamente il tempo necessario per percorrere i vari tragitti con il mezzo scelto: tale valore è funzione dei modelli che tengono conto della velocità dei flussi sulle vie di trasporto considerate.

Vi sono poi altre variabili, differenti per le diverse modalità.

Per il trasporto ferroviario il tempo di viaggio comprende tre componenti principali: attesa, tempo passato a bordo, tempo di interscambio. Il tempo di bordo è determinato dalla descrizione delle linee di transito (esaminate nel paragrafo pertinente treno e metro). Al fine di simulare il fatto che il sovraffollamento può comportare ritardi e rende più disagiata il percorso, il modello calcola un parametro di “difficoltà” endogeno quando il carico supera la capacità nominale dei treni. Il tempo di attesa dipende dalla frequenza di servizio, e il modello applica delle “sanzioni”, in termini di tempo, per tenere conto del tempo speso durante gli interscambi.

Per le auto, sono considerati il tempo necessario per parcheggiare e il tempo e, tramite un’apposita funzione, la congestione legata alla saturazione della capacità del parcheggio.

## Costi

Il costo di viaggio è ricavato usando una funzione i cui parametri sono stimati partendo dai costi di utilizzo (nel caso di moto e auto) o dalle tariffe (per il trasporto pubblico).

### Costi per i cittadini

Per le auto e per le moto sono considerati esclusivamente i costi percepiti (principalmente legati al consumo di carburante).



I pedaggi sono considerati laddove sono effettivamente applicati. I tipi di pedaggi stradali simulati sono tre:

- 1) Pedaggi per distanza percorsa in autostrada (dove il pedaggio si paga sulla base dei chilometri percorsi);
- 2) Pedaggio autostradale fisso (pagato indipendentemente dalla distanza percorsa);
- 3) Ecopass cittadino (che dipende dal tipo di veicolo su cui è applicata la tariffa);

Ulteriori costi legati all'uso dell'auto sono quelli per il parcheggio. Nella città di Milano, la quota di parcheggi a pagamento è superiore nel centro, che nelle periferie. Dal momento che il costo del parcheggio dipende dalla durata del posteggio, sono state effettuate diverse ipotesi di posteggio in base allo scopo del viaggio. Per esempio, si tiene conto del fatto che benché la maggior parte dei pendolari ricorra al parcheggio per diverse ore, si può presumere che utilizzino parcheggi privati, o che possano ricevere un rimborso (anche solo parziale) per le spese di parcheggio.

### **Costo del trasporto pubblico**

Per questa voce, nel modello è usato il costo dei biglietti e degli abbonamenti per rappresentare il costo di un viaggio percorso facendo ricorso al trasporto pubblico. Il prezzo del singolo biglietto è usato per descrivere i viaggi degli utenti non pendolari, assumendo che i pendolari facciano ricorso agli abbonamenti.

Per i servizi di bus interurbano e del treno, le tariffe sono distanza-dipendenti (nel caso del bus interurbano è necessario applicare un'approssimazione per ricondurre quel tipo di tariffa ad una tariffa distanza-dipendente). In questi casi, il modello utilizza una funzione di costo costituita da una quantità fissa, più un costo legato al km percorso.

Per il servizio urbano (bus e metropolitana), la tariffa è fissa, indipendente dalla distanza; tuttavia, alcune fermate della rete metropolitana sono considerate al di fuori dell'area urbana, e ad esso consegue un supplemento di tariffa, che viene considerato nel modello.

### **Servizi aeroportuali e costo dei taxi**

I servizi aeroportuali, sia su strada che su ferrovia, hanno proprie tariffe, diverse dai servizi di trasporto pubblico. Nel modello sono considerate le tariffe intere, poiché esse costituiscono il costo più rappresentativo, benché sia possibile pagare tariffe ridotte se le corse sono acquistate con un certo anticipo.

Anche le tariffe dei taxi (che sono il dato di partenza per poter stimare il costo legato a questa modalità di trasporto) subiscono una maggiorazione, rispetto alle tariffe urbane, quando percorrono le distanze necessarie per raggiungere gli aeroporti di Malpensa e Orio al Serio.

### **Costo dei viaggi intermodali**

Attualmente, nel nodo di Milano, i sistemi tariffari relativi alle quattro modalità di trasporto pubblico rappresentati nel modello sono solo parzialmente integrati. Non esiste la possibilità di usare tutte e quattro le modalità con un unico biglietto, ma esistono alcune forme di integrazione:

- 1) Bus urbani e metropolitana sono gestiti dallo stesso operatore (ATM) possono essere utilizzati con lo stesso biglietto, e alla stessa tariffa;
- 2) I bus interurbani hanno una tariffa integrata con il trasporto urbano, ossia con lo stesso biglietto si può passare alla metropolitana o al bus urbano;

- 3) I biglietti dei treni regionali non sono validi per bus e metropolitana, ma con un abbonamento mensile al trasporto urbano è possibile usare i treni regionali in una certa area urbana di Milano (non per le fermate della metropolitana al di fuori della città).

L'integrazione tra auto e trasporto pubblico urbano nella città di Milano riguarda le tariffe delle aree park&ride: il proprietario di abbonamenti del trasporto pubblico urbano milanese è autorizzato a utilizzare tali zone a tariffe ridotte.

Nel modello, un sistema complesso di parametri viene usato per riflettere queste integrazioni parziali. In particolare, se usato come modalità non principali all'interno di un trasporto multimodale, metro e bus urbani sono associati a costi diversi a seconda della modalità di trasporto principale (treno, bus, auto).

Il caso più complesso riguarda l'integrazione tra ferrovia e trasporto urbano per i pendolari, dal momento che gli utenti del treno possono scegliere un abbonamento mensile che include, integrandolo, l'uso del trasporto urbano, o di un abbonamento meno costoso, ma limitato al solo treno.

Il modello applica l'ipotesi dell'abbonamento più basso al trasporto ferroviario, mentre l'extra costo che dà diritto all'uso del trasporto urbano è associato ai bus urbani e alla metropolitana.

Simili funzioni di costo così articolate e che si basano su differenti possibilità di comportamento da parte dei viaggiatori sono utilizzate in altri casi per gestire situazioni locali, come l'extra costo della metro al di fuori dell'area urbana o la tariffa speciale del Malpensa Express (treno navetta da/per l'aeroporto di Malpensa).

## **Occupazione delle infrastrutture e dei mezzi**

Per il calcolo del grado di occupazione delle infrastrutture, i singoli viaggi sono convertiti in veicoli..

Per le auto, il fattore occupazione è vicino a uno. Per i bus, i fattori di occupazione sono molto più variabili, anche in dipendenza dell'orario per cui è compiuta la stima. Non esistono dati osservanti, pertanto il modello fa riferimento a valori indicativi desunti da applicazioni di modellazione precedenti.

Per la metropolitana e la ferrovia, come già detto, il modello tiene conto di specifici parametri che permettono di considerare il sovraffollamento del mezzo.

# RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DEGLI INDICI ALLE ZONE DI MILANO

Il calcolo dei tre indici permette di classificare le zone del nodo di Milano sulla base del valore che ogni indice attribuisce loro.

Per far questo, bisogna effettuare delle assunzioni sulla classe energetica degli edifici delle diverse zone di Milano.

Ovviamente, per zone ampie come quelle del caso in esame, è indispensabile una generalizzazione con pesanti approssimazioni. Si può comunque dire che le zone del centro (20,3,7) hanno in prevalenza edifici costruiti prima dell'800 fino ai primi anni del '900, con muri spessi mezzo metro o più, fatti di pietroni e non di mattoncini forati. Edifici del genere, anche senza particolari accorgimenti, stanno in classe D. Nelle periferie, con edifici risalenti agli anni '60, muri di carta-velina e impianti termici generalmente sovradimensionati risiedono sicuramente in classe G. Le zone nel mezzo ricadono in categorie intermedie (34, 1, 29, 30, 21, 22, 24 classe E; 36 e 8 classe F).

Fatte queste assunzioni, i risultati sono i seguenti.

Consumo di Zona in termini energetici		Consumo di Zona in termini monetari	
Classificazione Zone	kWh/mese	Classificazione Zone	€/mese
7	956	20	115,71
3	962	1	122,57
20	981	30	124,13
1	1.145	22	125,42
30	1.153	21	125,66
22	1.159	29	126,19
21	1.160	24	131,18
29	1.163	34	137,45
24	1.187	8	145,94
34	1.218	36	149,60
13	2.085	13	190,84
37	2.092	37	192,28
23	2.096	23	193,14
4	2.103	4	194,57
28	2.109	28	195,72
8	2.110	5	196,52
5	2.113	7	198,50
25	2.123	25	198,52
2	2.125	2	198,94
27	2.126	3	199,72
36	2.128	35	201,34
35	2.136	18	201,53
18	2.137	15	201,75
15	2.138	33	202,42
33	2.142	31	203,51
31	2.147	26	203,66
26	2.148	27	203,66
14	2.153	14	204,73
19	2.154	19	204,89
9	2.176	9	209,59

Tabella 12.1 – Valori di CdZ per le aree di Milano

Affordability Index Reddito Basso		Affordability Index Reddito Alto	
Classificazione Zone	-	Classificazione Zone	-
19	0,59	19	0,32
15	0,67	15	0,36
2	0,67	2	0,36
5	0,68	5	0,37
37	0,69	37	0,37
28	0,7	28	0,38
1	0,71	1	0,38
27	0,72	26	0,38
26	0,73	9	0,38
35	0,73	27	0,38
9	0,74	35	0,38
18	0,74	18	0,389
31	0,75	31	0,39
14	0,78	14	0,4
13	0,79	13	0,41
33	0,79	36	0,42
23	0,8	33	0,42
36	0,81	23	0,42
30	0,83	30	0,42
22	0,85	22	0,43
25	0,86	25	0,44
4	0,94	34	0,47
8	0,94	8	0,48
34	0,95	4	0,48
24	0,99	24	0,49
7	1,02	7	0,5
3	1,17	3	0,56
21	1,25	21	0,6
29	1,37	29	0,65
20	1,71	20	0,8

Tabella 12.2 – Valori di AI per le aree di Milano

<b>Indice Unico</b>	
<b>Classificazione Zona</b>	<b>€/mese</b>
zona19	701,49
zona 2	797,92
zona 15	798,78
zona 5	799,41
zona37	825,97
zona28	826,39
zona27	853,87
zona26	878,87
zona35	882,94
zona9	894,62
zona18	905,95
zona31	925,16
zona14	962,25
zona33	974,71
zona13	995,3
zona23	996,33
zona1	1000,9
zona36	1023,3
zona30	1073,9
zona22	1074,3
zona25	1074,5
zona4	1191,5
zona8	1202,4
zona34	1227,1
zona24	1290,8
zona 7	1354,2
zona 3	1568,3
zona21	1675,9
zona29	1877,1
zona20	2371,7

*Tabella 12.3 – Valori di IU per le aree di Milano*

Le mappature della città di Milano per i tre indici sono riportate di seguito. I colori caldi indicano valori alti degli indici:

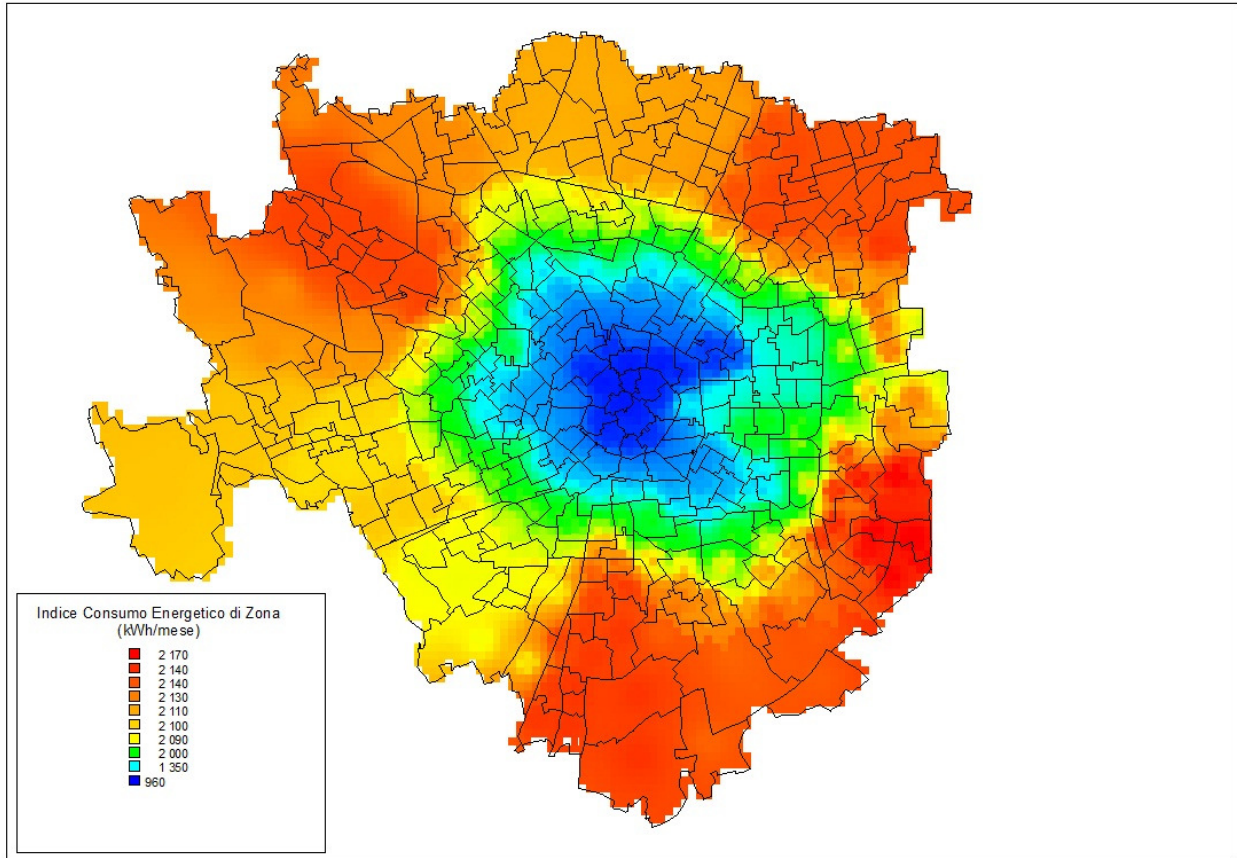


Figura 12.1 – Mappatura città di Milano: Consumo di Zona (kWh/mese)

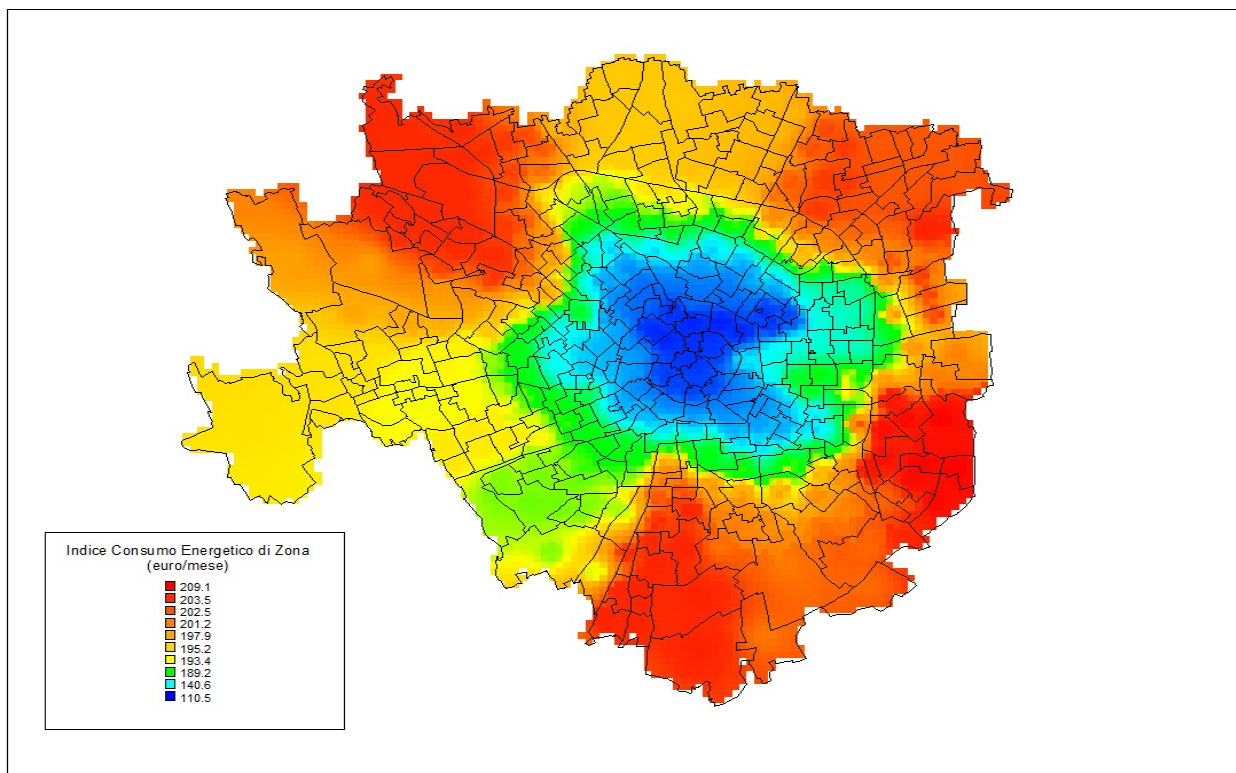


Figura 12.2 – Mappatura città di Milano: Consumo di Zona (€/mese)

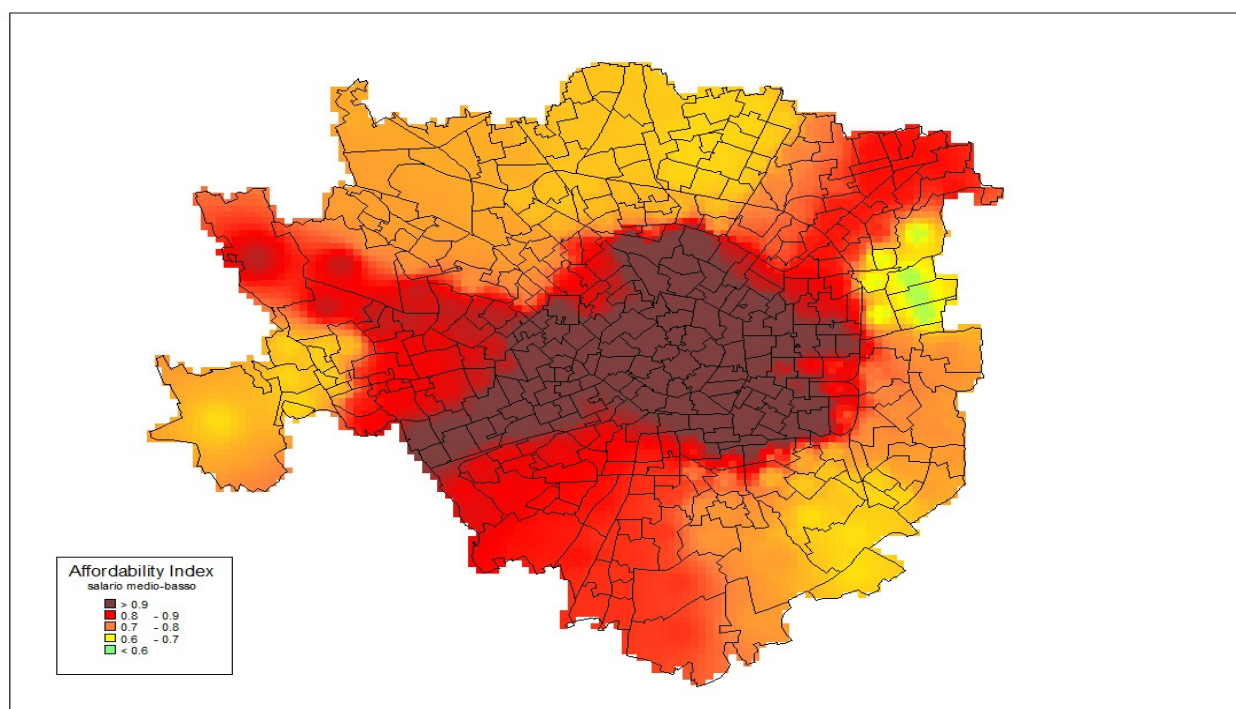
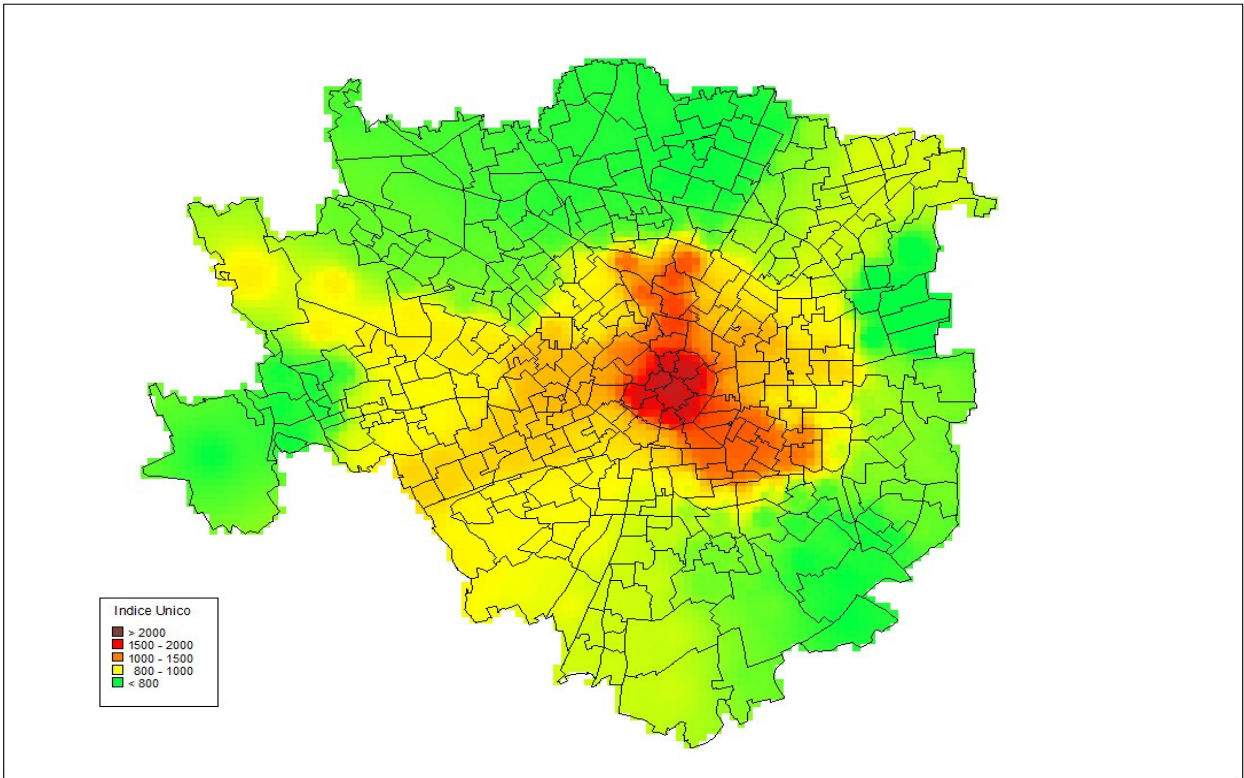


Figura 12.3 - Mappatura città di Milano: Affordability Index (reddito basso)





*Figura 12.4 - Mappatura città di Milano: Indice Unico*

## VALORI MEDI

Di seguito sono riportati i valori medi del costo di trasporto e degli affitti, valutati per le zone periferiche e per le zone centrali. Sono stati quindi calcolati i valori degli indici per entrambe le casistiche.

Media Costo Generalizzato Trasporto Periferia		Media Costo Generalizzato Trasporto Centro	
Reddito Basso	Reddito Alto	Reddito Basso	Reddito Alto
€/mese	€/mese	€/mese	€/mese
233,45	502,91	227	461,42

Tabella 12.4 – Media costi trasporto per aree periferiche e centrali della città di Milano

Media Affitti Periferia	Media Affitti Centro
€/mese	€/mese
7,28	12,93

Tabella 12.5 – Media affitti per aree periferiche e centrali della città di Milano

Si è anche svolta la media di costi di trasporto puro, ovvero senza i costi legati al tempo, per rendere possibile una valutazione dei valori soglia anche dell'Indice Unico. Anche questi costi, ovviamente, sono espressi in termini di €/mese.

Media Costo Monetario Trasporto Periferia	Media Costo Monetario Trasporto Centro
€/mese	€/mese
37,49	35,21

Tabella 12.6 – Media costo monetario trasporto per aree periferiche e centrali della città di Milano

Per quanto riguarda i dati usati come input del Consumo di Zona:

Consumo Energetico Medio Trasporti con Automobile		Spesa Media Trasporti con Automobile	
Periferia	Centro	Periferia	Centro
kWh/mese	kWh/mese	€/mese	€/mese
297,01	290,15	61,05	59,64

Tabella 12.7 – Media consumo energetico dovuto al traffico di automobili e media della spesa economica legata all'uso dell'automobile

I valori di Consumo di Zona, Affordability Index ed Indice Unico che si ricavano a partire da questi dati sono riportati nella tabella 12.8.

	CdZ Energetico		CdZ Monetario		AI Reddito Basso		AI Reddito Alto		IU	
	Periferia	Centro	Periferia	Centro	Periferia	Centro	Periferia	Centro	Periferia	Centro
	kWh/mese	kWh/mese	€/mese	€/mese	-	-	-	-	€/mese	€/mese
<b>Classe A</b>	484,51	477,65	75,05	73,64	0,65	1,02	0,35	0,50	779,49	1342,21
<b>Classe B</b>	630,34	623,4833	86,05	84,64	0,65	1,03	0,36	0,51	790,49	1353,21
<b>Classe C</b>	797,01	790,15	99,05	97,64	0,66	1,04	0,36	0,51	803,49	1366,21
<b>Classe D</b>	963,68	956,8167	112,05	110,64	0,67	1,05	0,37	0,52	816,49	1379,21
<b>Classe E</b>	1172,01	1165,15	128,05	126,64	0,68	1,06	0,37	0,52	832,49	1395,21
<b>Classe F</b>	1463,68	1456,817	150,05	148,64	0,70	1,07	0,38	0,53	854,49	1417,21
<b>Classe G</b>	2130,01	2123,15	200,05	198,64	0,73	1,11	0,39	0,54	904,49	1467,21

Tabella 12.8 – Valori medi dei tre indici per zone periferiche e centrali

## COMMENTI AI RISULTATI

Vengono ora prese in considerazione le 5 aree considerate più virtuose per ogni singolo indice e le 5 aree che sono invece descritte, sempre dagli indici, come le più sfavorite.

### Low 5 Valori di Consumo di Zona (kWh/mese)

Zona	Quartiere	Consumo Energetico Riscaldamento	Consumo Energetico Trasporto (Automobile)	Consumo di Zona
		kWh/mese	kWh/mese	kWh/mese
7	Porta Venezia: CENTRO	667,00	289,46	956
3	Cadorna-Castello-Brera: CENTRO	667,00	295,41	962
20	Centro Storico: CENTRO	667,00	314,81	981
1	Sempione-Cenesio: CENTRO	875,00	270,33	1.145
30	Repubblica-Centrale: CENTRO	1167,00	277,92	1.153

Tabella 13.1 - Aree per le quali si hanno i valori più bassi del Consumo di Zona espresso in kWh/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile

Come riportato, si tratta di aree situate nel centro della città. In queste aree i costi degli affitti (che, si ricorda, non entrano nell'elaborazione del CdZ, ma sono qui ripresi perché la connessione tra le quotazioni immobiliari e i valori degli indici è uno dei propositi di questo lavoro) sono superiori alla media della città, mentre i costi di trasporto sono più bassi della media della città. Da ciò si può facilmente dedurre che gli abitanti di queste zone trovano lavoro e servizi in prossimità delle loro abitazioni, rendendo così bassi i costi (sia monetari, che in termini di tempo) da sostenere per raggiungerli.

### Top 5 Valori di Consumo di Zona (kWh/mese)

Zona	Quartiere	Costo Riscaldamento kWh/(mese )	Consumo Energetico Trasporto (Automobile) kWh/mese	Consumo di Zona kWh/mese
31	Loreto-Monza: PERIFERIA	1833,00	313,81	2.147
26	QT8-Lampignano-Gallaratese: PERIFERIA	1833,00	314,56	2.148
14	Tibaldi-Abbiategrasso-Missaglia: PERIFERIA	1833,00	319,79	2.153
19	Mecenate-Santa Giulia:PERIFERIA	1833,00	320,57	2.154
9	Lambrate: PERIFERIA	1833,00	343,43	2.176

Tabella 13.2 - Aree per le quali si hanno i valori più alti del Consumo di Zona espresso in kWh/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile

Si tratta, come riportato, di aree periferiche, dove i costi degli affitti sono inferiori rispetto alla media della città ma si hanno alti costi di trasporto (superiori alla media cittadina), evidentemente sostenuti per raggiungere luoghi di lavoro, servizi ed attività offerti dal centro.

Sarà analizzato ora il contributo che le diverse voci di input hanno nel determinare il valore del CdZ.

Si prende come esempio la zona 1:

	Consumo Energetico Riscaldamento kWh/mese	Consumo Energetico Trasporto (Automobile) kWh/mese	Consumo di Zona kwh/mese
<b>classe A</b>	188	270	458
<b>classe B</b>	333	270	604
<b>classe C</b>	500	270	770
<b>classe D</b>	667	270	937
<b>classe E</b>	875	270	1.145
<b>classe F</b>	1167	270	1.437
<b>classe G</b>	1833	270	2.103

Tabella 13.3 - Sono riportati i contributi dei due dati che determinano il Consumo di Zona (kWh/mese) per un'abitazione in zona 1

Come si nota, salvo che per le abitazioni di classe A, è preponderante il contributo del consumo domestico. La zona 1 ha un valore di spesa energetica dovuta al trasporto inferiore alle media (che è 294,68 kWh/mese). Anche con quest'ultimo dato, in ogni caso, la situazione non cambierebbe. Solo per poche zone questo contributo ha maggior peso anche nel caso di abitazione di classe energetica B (due sole zone: 9 e 34).

### Low 5 Valori di Consumo di Zona (€/mese)

Zona	Quartiere	Costo Riscaldamento	Consumo Energetico Trasporto (Automobile)	Consumo di Zona
		€/mese	€/mese	€/mese
20	Centro Storico: CENTRO	51,00	64,71	115,71
1	Sempione-Cenesio: CENTRO	67,00	55,57	122,57
30	Repubblica-Centrale: CENTRO	139,00	57,13	124,13
22	Genova-Ticinese: CENTRO	67,00	58,42	125,42
21	Romana-Lodi: CENTRO	67,00	58,66	125,66

Tabella 13.4 - Aree per le quali si hanno i valori più bassi del Consumo di Zona espresso in €/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile

Valgono le stesse considerazioni fatte per il CdZ espresso come kWh/mese: sono favorite le aree centrali.

### Top 5 Consumo di Zona (€/mese)

Zona	Quartiere	Costo Riscaldamento	Consumo Energetico Trasporto (Automobile)	Consumo di Zona
		€/mese	€/mese	€/mese
26	QT8-Lampugnano-Gallaratese: PERIFERIA	139,00	64,66	203,66
27	Certosa-Quarto Oggiaro: PERIFERIA	139,00	60,19	203,66
14	Tibaldi-Abbiategrosso-Missaglia:PERIFERIA	139,00	65,73	204,73
19	Lambrate: PERIFERIA	139,00	65,89	204,89
9	Mecenate-Santa Giulia: PERIFERIA	139,00	70,59	209,59

Tabella 13.5 - Aree per le quali si hanno i valori più alti del Consumo di Zona espresso in €/mese. Sono riportati il consumo energetico dovuto al riscaldamento e quello relativo all'uso dell'automobile

Anche qui, la situazione è identica a quella del Consumo di Zona espresso in kWh/mese.

Volendo valutare il contributo che le singole voci di input hanno nel determinare il valore dell'indice, si prende ancora in esame la zona 1.

	Costo Energia	Costo Trasporto	Consumo di Zona
	€/mese	€/mese	(€/mese)
<b>Classe A</b>	14	55,57	69,57
<b>Classe B</b>	25	55,57	80,57
<b>Classe C</b>	38	55,57	93,57
<b>Classe D</b>	51	55,57	106,567
<b>Classe E</b>	67	55,57	122,57
<b>Classe F</b>	89	55,57	144,57
<b>Classe G</b>	139	55,57	194,57

Tabella 13.6 - Sono riportati i contributi dei due dati che determinano il Consumo di Zona (€/mese) per un'abitazione in zona 1

Come si vede, fino alla Classe D inclusa è prevalente il contributo del trasporto. I valori massimi del costo dovuto al trasporto su automobili (zone 34 e 9, rispettivamente 70,45 €/mese e 70,59 €/mese) estendono il prevalere di questo contributo, in questi casi, sino alla zona E.



### Low 5 Valori di Affordability Index (Reddito Basso)

Zona	Quartiere	Costo Riscaldamento	Affitto	Costo Generalizzato Trasporto Red. Basso	Affordability Index
		€/ (mese )	€/ (m <sup>2</sup> *mese )	€/mese	-
19	Lambrate: PERIFERIA	139,00	5,25	230,97	0,59
15	Corvetto-Rogoredo: PERIFERIA	139,00	6,25	243,42	0,67
2	Baggio: PERIFERIA	139,0	6,25	247,92	0,67
5	Niguarda-Zara-Testi: PERIFERIA	139,00	6,25	253,73	0,68
37	Bovisa: PERIFERIA	139,00	6,50	246,28	0,69

Tabella 13.7 - Aree per le quali si hanno i valori più bassi dell’Affordability Index. Sono riportati il costo generalizzato di trasporto e i costi dell'affitto

Le aree più favorite, secondo l’Affordability Index, sono quelle periferiche, dove si hanno bassi costi legati agli affitti ed alti costi inerenti i trasporti (rispettivamente inferiori ed inferiori alla media cittadina). Unica eccezione la zona 19, dove anche i costi legati ai trasporti sono inferiori alle medie.

### Top 5 Valori di Affordability Index (Reddito Basso)

Zona	Quartiere	Costo Riscaldamento	Affitto	Costo Trasporto Generalizzato Red. Basso	Affordability Index
		€/ (mese )	€/ (m <sup>2</sup> *mese )	€/mese	-
7	Porta Venezia: CENTRO	51,00	12,70	213,71	1,02
3	Cadorna-Castello-Brebra: CENTRO	51,00	14,82	215,24	1,17
21	Romana-Lodi: CENTRO	67,00	15,75	228,60	1,25
29	Porta Nuova: CENTRO	67,00	17,75	224,31	1,37
20	Centro Storico: CENTRO	51,00	22,80	231,55	1,71

Tabella 13.8 - Aree per le quali si hanno i valori più alti dell’Affordability Index. Sono riportati il costo generalizzato di trasporto e i costi dell'affitto

Come si nota, le aree più sfavorite dall’AI sono quelle centrali, contraddistinte da alti costi legati agli affitti e bassi costi legati ai trasporti.

Il peso maggiore è costituito dunque dal costo degli affitti, seguiti dai costi di trasporto e dal consumo energetico. Esempio: zona 1, classe energetica G, reddito alto: il valore di AI è 0,433. Annullando i costi energetici si ottiene 0,393, annullando i costi di trasporto si ottiene 0,29 (azzerando prima i costi monetari e poi i costi del tempo si ottiene, rispettivamente, 0,423 e 0,30, quindi i costi legati al tempo di viaggio incidono maggiormente), annullando gli affitti abbiamo 0,17.

<b>Affordability Index</b>	<b>Affordability Index senza Costi Energetici</b>	<b>Affordability Index senza Costo Generalizzato Trasporto</b>	<b>Affordability Index senza Costo Monetario Trasporto</b>	<b>Affordability Index senza Costo Tempo</b>	<b>Affordability Index senza Costo Affitto</b>
-	-	-	-	-	-
0,43	0,39	0,29	0,43	0,30	0,17

*Tabella 13.9 - Sono riportati i contributi dei tre dati che determinano l’Affordability Index (Consumi Energetici, Costo di Trasporto, Costo dell’Affitto) per un’abitazione in zona 1 e di classe energetica G, mettendo in luce il peso che hanno i diversi contributi (differenziando, inoltre, il costo puramente monetario di trasporto ed il costo del tempo)*

### Low 5 Valori di Indice Unico

Zona	Quartiere	Consumo Energetico	Affitto	Costo Monetario Trasporto	Indice Unico
		€/mese	€/ (m <sup>2</sup> *mese )	€/mese	€/mese
19	Lambrate: PERIFERIA	139,00	5,25	37,49	701,49
2	Baggio: PERIFERIA	139,00	6,25	39,93	797,92
15	Corvetto-Rogoredo: PERIFERIA	139,00	6,25	34,77	798,78
5	Niguarda-Zara-Testi: PERIFERIA	139,00	6,25	35,41	799,41
37	Bovisa: PERIFERIA	139,00	6,50	36,96	825,97

Tabella 13.10 - Aree per le quali si hanno i valori più bassi dell'Indice Unico. Sono riportati il costo monetario di trasporto e i costi dell'affitto

I valori bassi di Indice Unico si associano alle aree periferiche con bassi affitti e costi di trasporto intorno alla media (che, in assenza dei costi legati al tempo, vale 36,58 €/mese). Evidentemente, pesa maggiormente il basso valore dell'affitto.

### Top 5 Valori di Indice Unico

Zona	Quartiere	Consumo Energetico	Affitto	Costo Monetario Trasporto	Indice Unico
		€/mese	€/ (m <sup>2</sup> *mese )	€/mese	€/mese
7	Porta Venezia: CENTRO	51,00	12,7	33,23	1354,20
3	Cadorna-Castello-Brera: CENTRO	51,00	14,82	34,77	1568,30
21	Romanda-Lodi: CENTRO	67,00	15,75	33,88	1675,90
29	Porta Nuova: CENTRO	67,00	17,75	35,1	1877,10
20	Centro Storico: CENTRO	51,00	22,8	39,46	2371,70

Tabella 13.11 - Aree per le quali si hanno i valori più alti dell'Indice Unico. Sono riportati il costo monetario di trasporto e i costi dell'affitto

Per i valori alti di Indice Unico si hanno 5 aree localizzate in centro, ed aventi altissimi costi di affitto e costi di trasporto intorno alla media. Anche qui, si conferma l'influenza preponderante dei costi legati alle abitazioni.

Di seguito è riportato un esempio numerico che mostra il peso che hanno i diversi input dell'Indice Unico. Prendendo come caso in esame la zona 1, un'abitazione di classe energetica G ottiene un valore di Indice Unico pari a 947,92. Classifica uguale a quella dell'AI: il peso maggiore è dato dagli affitti, seguiti dai costi di trasporto e dai costi energetici : Esempio zona 1, classe energetica G, reddito alto: il valore di IU è 947,92. Annullando i soli costi energetici si ottengono 933,92 €/mese, azzerando i costi relativi ai trasporti abbiamo 914 €/mese, ignorando gli affitti si hanno 47,9 €/mese.

<b>Indice Unico</b>	<b>Indice Unico senza Costi Energetici</b>	<b>Indice Unico senza Costo Monetario Trasporto</b>	<b>Indice Unico senza Costo Affitto</b>
-	-	-	-
947,92	933,92	914,00	47,90

*Tabella 13.12 - Sono riportati i contributi dei tre dati che determinano l'Indice Unico (Consumi Energetici, Costo Monetario di Trasporto, Costo dell'Affitto) per un'abitazione in zona 1 e di classe energetica G, mettendo in luce il peso che hanno i diversi contributi*

## Considerazioni

### Consumo di Zona

Il consumo di zona, in entrambe le forme analizzate, è determinato in maniera circa paritaria dai costi energetici dovuti al riscaldamento e dai costi legati al trasporto (in particolare, dal costo del tempo). Poiché entrambi i costi sono più bassi nelle zone centrali, risulta quindi che queste sono le aree che vengono suggerite, essendo quelle meglio servite in termini di posti di lavoro presenti in loco e meglio connesse con il resto della città, oltre a presentare edifici a miglior classe energetica. Ovviamente queste aree sono tra quelle con maggiori costi legati alle abitazioni, e sono quindi fuori portata per i redditi bassi. Seguendo le indicazioni date da questo indice, risulterebbe una distribuzione della popolazione, all'interno della città, molto segnata dalle differenze di reddito: il centro popolato dai cittadini con maggiori disponibilità economiche, le periferie dalle classi sociali più deboli.

### Affordability Index

Il costo degli affitti rappresenta il maggior contributo alla determinazione del valore dell'AI per le diverse zone. Ne risulta che, quindi, tale indicatore privilegerà le aree periferiche, essendo quelle con i minori costi legati all'abitazione. Si ottiene, quindi, una distribuzione opposta rispetto al CdZ. In questo contesto, parrebbe preferibile una città con una buona rete di trasporti in grado di connettere le periferie al centro.

La particolarità dell'AI è, però, legata al fatto che esso rapporta i costi legati all'abitare in una certa zona con il reddito dell'abitante. Prendendo come esempio le colonne relative alla classificazione delle zone di Milano rispetto ai loro valori di AI viene calcolata la media del valore dell'AI tra le prime 5 zone classificate e le ultime 5 per entrambi i valori di reddito presi.

#### Reddito Basso

Media valore AI zone top 5 0,66

Media valore AI zone low 5 1,30

#### Reddito alto

Media valore AI zone top 5 0,35

Media valore AI zone low 5 0,62

Come si può notare, la differenza è nettamente maggiore nel caso del reddito basso. Questo sta a significare che l'AI indica a chi ha disponibilità economiche maggiori che la differenza tra le zone non è marcata. Per i membri delle classi sociali più abbienti è quindi possibile sostenere meglio le spese legate al vivere in zone sfavorite dal punto di vista dell'AI (che sono quelle centrali). Gli abitanti con reddito basso ricevono dall'AI l'informazione che per loro le zone con valori dell'indice conveniente sono poco accessibili, in termini economici.

Considerando la variabile reddito, si può quindi andare ad ipotizzare una distribuzione economico-sociale della popolazione di Milano simile a quella emersa dalla valutazione del CdZ: le classi più abbienti possono comunque abitare nel centro della città dato che sono in grado di sostenere le spese conseguenti.

## **Indice Unico**

Questo indice è totalmente slegato dal reddito: non solo, come il Cdz, questa variabile non compare a denominatore, ma essa è totalmente epurata dal calcolo poiché non vengono considerati i costi legati al tempo di viaggio, che a loro volta dipendono dal reddito.

Sono favorite le aree periferiche, con bassi costi di affitto e costi di trasporto nella media. Tra le zone della low 5, invece, abbiamo solo aree centrali, con altissimi costi di affitto e, anche qui, costi di trasporto intorno alla media.

Possono essere quindi fatte le stesse conclusioni prese con l'AI, ovviamente ignorando le considerazioni legate al reddito: l'Indice Unico spinge le persone ad andare ad abitare laddove ci sono bassissimi costi di affitto, quindi ancora una volta in centro.

# APPLICAZIONI PER CASI PARTICOLARI

In questa sezione del lavoro sono stati esaminati dei casi particolari che riproducessero condizioni di scelta da parte di residenti/lavoratori, per verificare quali indicatori sono utili per prendere queste scelte e che indicazioni forniscono.

## Caso 1

*Calcolare costi e indici di una persona abita e lavora in centro (abita in zona 29 e lavora in zona 3) e vedere come cambiano costi e indici se la persona si trasferisce a vivere dalla zona 29 alla zona 9 (periferica), ma continua a lavorare in zona 3.*

Per prima cosa bisogna analizzare i costi relativi al trasporto: per questo, è stata calcolata la media dei costi e dei tempi di trasporto sostenuti da un viaggiatore che dalla zona 29 vuole andare alla zona 3, e dalla zona 9 alla zona 3.

I valori della media dei costi e dei tempi sono i seguenti:

<b>Media Costo zona 29--&gt; 3</b>	<b>Media Tempo Zona 29--&gt;3</b>
<b>€/viaggio</b>	<b>h/viaggio</b>
0,56	0,53

<b>Media Costo Zona 9--&gt;3</b>	<b>Media Tempo Zona 9--&gt;3</b>
<b>€/viaggio</b>	<b>h/viaggio</b>
0,65	0,69

<b>Distanza mensile 29 --&gt; 3</b>
<b>km/viaggio</b>
3,41
<b>Distanza mensile 9 --&gt; 3</b>
<b>km/viaggio</b>
8,47

Dopo aver adeguato i valori di costo e tempo con il reddito (basso 1.500€, alto 3.500€) si ottengono i seguenti risultati:

**Situazione 1: abita in 29, lavora in 3**

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
269	18,92	1,33	0,63	1811,40	<b>A</b>
415	29,92	1,34	0,64	1822,40	<b>B</b>
582	42,92	1,35	0,65	1835,40	<b>C</b>
749	55,92	1,36	0,65	1848,40	<b>D</b>
<b>957</b>	<b>71,92</b>	<b>1,37</b>	<b>0,65</b>	<b>1864,40</b>	<b>E</b>
1.249	93,92	1,38	0,66	1886,40	<b>F</b>
1.915	143,92	1,42	0,67	1936,40	<b>G</b>

**Situazione 2: vive in 9, lavora in 3**

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
391	55,78	0,65	0,36	752,66	<b>A</b>
537	66,78	0,66	0,37	763,66	<b>B</b>
703	79,78	0,67	0,37	776,66	<b>C</b>
870	92,78	0,68	0,38	789,66	<b>D</b>
1.078	108,78	0,69	0,38	805,66	<b>E</b>
1.370	130,78	0,71	0,39	827,66	<b>F</b>
<b>2.036</b>	<b>180,78</b>	<b>0,74</b>	<b>0,40</b>	<b>877,66</b>	<b>G</b>

In rosso è evidenziata la classe energetica a cui appartengono, per le assunzioni descritte nel capitolo 12, gli edifici della zona presa in esame.

Come attendibile, i tre indici reagiscono in maniera differente a fronte di uno spostamento del cittadino da una zona centrale ad una periferica: il CdZ aumenta il suo valore, in conseguenza ai maggiori costi di trasporto che il lavoratore dovrà sostenere per recarsi al lavoro; l'AI e l'IU, viceversa, diminuiscono, poiché per essi ha un peso maggiore il drastico abbassamento del costo degli affitti.



## Caso 2

Calcolare costi e indici di una persona abita in periferia e lavora in centro (ad esempio abita in zona 18 e lavora in zona 3) e vedere come cambiano costi e indici se la persona potesse lavorare in una zona adiacente a quella in cui vive, ad esempio zona 19 (anch'essa, ovviamente, periferica).

Anche qui vengono analizzati i costi relativi al trasporto: si effettua cioè la media dei costi e dei tempi di trasporto affrontati da un viaggiatore che dalla zona 18 deve andare a lavorare alla zona 3, e successivamente dalla zona 18 alla zona 9.

I valori della media dei costi e dei tempi sono i seguenti:

Media Costo Zona 18-->3	Media Tempo Zona 18-->3
€/viaggio	h/viaggio
0,72	0,68

Media Costo Zona 18-->19	Media Tempo Zona 18-->19
€/viaggio	h/viaggio
1,03	0,61

Distanza mensile 18 -->3
km/viaggio
5,79
Distanza media 18 --> 19
km/viaggio
4,54

Dopo aver adeguato i valori di costo e tempo con il reddito (basso 1.500€, alto 3.500€) si ottengono i seguenti risultati:

**Situazione 1: abita in 18, lavora in 3**

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
326	42,55	0,79	0,42	767,99	<b>A</b>
472	53,55	0,80	0,43	778,99	<b>B</b>
639	66,55	0,81	0,43	791,99	<b>C</b>
806	79,55	0,82	0,44	804,99	<b>D</b>
1.014	95,55	0,83	0,44	820,99	<b>E</b>
1.306	117,55	0,84	0,45	842,99	<b>F</b>
<b>1.972</b>	<b>167,55</b>	<b>0,87</b>	<b>0,46</b>	<b>892,99</b>	<b>G</b>

**Situazione 2: abita in 18, lavora in 19**

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
296	36,40	0,78	0,41	780,29	<b>A</b>
442	47,40	0,79	0,41	791,29	<b>B</b>
609	60,40	0,80	0,42	804,29	<b>C</b>
776	73,40	0,81	0,42	817,29	<b>D</b>
984	89,40	0,83	0,43	833,29	<b>E</b>
1.276	111,40	0,83	0,43	855,29	<b>F</b>
<b>1.942</b>	<b>161,40</b>	<b>0,87</b>	<b>0,45</b>	<b>905,29</b>	<b>G</b>

In rosso è evidenziata la classe energetica a cui appartengono, per le assunzioni descritte nel capitolo 12, gli edifici della zona presa in esame.

Il passaggio è consigliato sia dal CdZ (diminuiscono, ovviamente, i costi di trasporto) che dall'AI. Quest'ultimo ha una variazione minima, poiché non cambiando luogo di residenza non varia neanche la voce con più peso per la sua composizione. Ovviamente, l'approssimarsi del luogo di lavoro determina un abbassamento del valore dell'AI, anche se meno sensibile rispetto a quello del CdZ. L'IU, invece, sconsiglia il cambiamento: in esso si ha infatti un guadagno in termini di tempi di viaggio, mentre i costi monetari (che costituiscono uno degli input dell'indice) sono superiori. Va detto che questo avviene perché sono state prese in considerazione tutte le modalità di trasporto, facendo una media dei costi: se si fosse considerato il solo trasporto via automobile anche per questo indice avrebbe riscontrato un miglioramento dal passaggio.

### Caso 3

Supporre che una persona abiti in centro a condizioni particolarmente favorevoli (per esempio con vecchi contratti di affitto particolarmente convenienti) e lavori in centro (ad esempio abita in zona 29 e lavora in zona 3); immaginare che per qualche motivo (per esempio un nuovo contratto d'affitto) i costi per la casa crescano improvvisamente del 40%. Calcolare costi e indici nei due casi e confrontarli con il caso in cui la persona decida di non accettare l'incremento di costo per la casa e decida di trasferirsi in periferia (per esempio alla zona 9). E' davvero conveniente? Confrontare gli indici nei due casi.

Si effettua la media dei costi e dei tempi di trasporto affrontati da un viaggiatore che dalla zona 29 deve andare a lavorare alla zona 3, e successivamente dalla zona 9 alla zona 3.

Come nei casi precedenti, viene effettuata la media dei costi e dei tempi di trasporto affrontati da un viaggiatore che dalla zona 29 deve andare a lavorare alla zona 3, e successivamente dalla zona 9 alla zona 3 (in questo caso, ovviamente, i calcoli coincidono col caso 1):

I valori della media dei costi e dei tempi sono i seguenti:

<b>Media Costo zona 29--&gt; 3</b>	<b>Media Tempo Zona 29--&gt;3</b>
<b>€/viaggio</b>	<b>h/viaggio</b>
0,56	0,53

<b>Media Costo Zona 9--&gt;3</b>	<b>Media Tempo Zona 9--&gt;3</b>
<b>€/viaggio</b>	<b>h/viaggio</b>
0,65	0,69

<b>Distanza mensile 29 --&gt; 3</b>
<b>km/viaggio</b>
3,41
<b>Distanza mensile 9 --&gt; 3</b>
<b>km/viaggio</b>
8,47

Per il primo caso di studio (affitto basso, nonostante si sia presa in considerazione una zona centrale) si è deciso di usare per l'affitto il valore medio delle 15 zone con gli affitti più bassi (tale valore risulta essere di 7€/m<sup>2</sup>), ottenendo, per gli indici, i seguenti valori:

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
324	30,84	0,61	0,33	736,39	A
470	41,84	0,62	0,33	747,39	B
637	54,84	0,63	0,34	760,39	C
803	67,84	0,64	0,34	773,39	D
1.012	83,84	0,65	0,35	789,39	E
1.303	105,84	0,67	0,3	811,39	F
1.970	155,84	0,70	0,37	861,39	G

Nel caso in cui dopo l'incremento del 40% dell'affitto non segua un trasferimento in un'altra zona si ottengono, sempre per gli indici, i seguenti valori:

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
324	30,84	0,80	0,41	1016,39	A
470	41,84	0,81	0,41	1027,39	B
637	54,84	0,82	0,42	1040,39	C
803	67,84	0,83	0,42	1053,39	D
1012	83,84	0,84	0,43	1069,39	E
1303	105,84	0,85	0,43	1091,39	F
1970	155,84	0,89	0,45	1141,39	G

Mentre se l'abitante decide di trasferirsi alla zona 9 si ricavano questi valori:

CdZ		AI Reddito Basso	AI Reddito Alto	IU	Classe Energetica
kWh/mese	€/mese	-	-	€/mese	-
391	55,786172	0,658727199	0,368889828	752,6623991	A
537	66,786172	0,666060533	0,372032685	763,6623991	B
703	79,786172	0,674727199	0,375746971	776,6623991	C
870	92,786172	0,683393866	0,379461257	789,6623991	D
1078	108,786172	0,694060533	0,384032685	805,6623991	E
1370	130,786172	0,708727199	0,3903184	827,6623991	F
2036	180,786172	0,742060533	0,404604114	877,6623991	G

In rosso è sempre evidenziata la classe energetica a cui appartengono, per le assunzioni descritte nel capitolo 12, gli edifici della zona presa in esame.

Come è facilmente apprezzabile, il CdZ consiglia di mantenersi nell'area centrale, dal momento che esso non subisce variazioni dall'innalzamento dell'affitto, ma solo dall'allontanamento della residenza al luogo di lavoro. L'AI e l'IU, invece, suggerisco di andare a vivere in periferia, poiché in questi indici ha maggior peso l'abbassamento del costo dell'affitto, piuttosto che l'aggravarsi delle spese di trasporto.

## Caso 4

Immaginare che una persona residente in una casa di classe F decida di investire i suoi soldi in opere per l'abbattimento dei consumi energetici e passare alla classe A. Va a spendere 50.000 euro e li paga con un prestito che gli costa 200 euro al mese per i successivi 20 anni. Stabilire dopo quanti anni i risparmi energetici consentono alla famiglia di ottenere un guadagno. Valutare dopo quanti anni l'investimento viene recuperato

Sono presi ad esempio le situazioni analizzate nei casi precedenti:

<b>Residenza in zona 29 (centro), lavoro in zona 3 (centro)</b>			
<b>AI Classe Energetica F</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica F</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica F</b>	<b>IU Classe Energetica F</b>
0,20	1.303	105,84	1886,39
<b>AI Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>IU Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>
0,28	324	30,84	2011,39
<b>Residenza in zona 9 (periferia), lavoro in zona 3 (centro)</b>			
<b>AI Classe Energetica F</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica F</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica F</b>	<b>IU Classe Energetica F</b>
0,24	1.505	130,78	827,66
<b>AI Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>IU Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>
0,32	526	55,78	952,66
<b>Residenza in zona 18 (periferia), lavora in 3 (centro)</b>			
<b>AI Classe Energetica F</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica F</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica F</b>	<b>IU Classe Energetica F</b>
0,24	1.398	117,55	842,9937391
<b>AI Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>IU Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>
0,32	419	42,55	967,99
<b>Residenza in zona 18 (periferia), lavora in 19 (periferia)</b>			
<b>AI Classe Energetica F</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica F</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica F</b>	<b>IU Classe Energetica F</b>
0,23	1.348	111,40	855,299
<b>AI Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ kwh Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>CdZ €/mese Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>	<b>IU Classe Energetica A, con costi da sostenere</b>
0,31	369	36,40	980,29

Come si vede, sia Ai che IU registrano costi mensili superiori da sostenere dopo l'investimento. Questo perché il risparmio mensile che si ottiene dal passaggio dalla classe energetica F (per la quale si sostengono costi mensili pari a 89€/mese) alla A (14 €/mese) è di 75€/mese, mentre l'aggravio per le famiglie dovuto al mutuo da pagare è pari a 200 €/mese. Il CdZ, che considera solo i consumi energetici e le spese monetarie ad essi dovuti, registra sempre un miglioramento, come era facilmente attendibile.

Naturalmente, una volta estinto il mutuo, la famiglia che ha sostenuto l'investimento comincerà ad accumulare un guadagno. Verrà di seguito stabilito dopo quanto tempo la famiglia comincerà a risparmiare.

Facendo riferimento a costi annui, la situazione è la seguente:

Risparmi da passaggio a classe energetica più efficiente		Costi (mutuo)	
Mensili (€/mese)	Annui (€/anno)	Mensili (€/mese)	Annui (€/anno)
75	900	200	1200

Se, come già detto, per i primi 20 anni avremo dei costi (mutuo) non compensati dal risparmio energetico, per tenerne conto si fa ricorso alla formula del Valore Netto Presente, che permette di attualizzare i costi e i vantaggi che una famiglia sosterrà o godrà dopo un certo numero di anni. Come tasso di attualizzazione è scelto un valore pari a 4%.

L'applicazione per i primi 20 anni restituisce un costo complessivo da sostenere per le famiglie pari a 5.760,23 €.

Dopo 20 anni, iniziano i guadagni per le famiglie che hanno sostenuto l'investimento. Essi sono ovviamente pari ai già citati 900 €/anno. Per vedere in quanti anni essi ammortizzano l'investimento, è sufficiente stabilire come valore della formula del Valore Netto Presente quello dei costi dei primi 20 anni, mantenendo come incognita il numero di anni necessari affinché i guadagni li compensino.

Questa elaborazione restituisce un valore di 6,42 anni. Saranno quindi necessari 27 anni complessivi perché la famiglia cominci a guadagnare dall'investimento effettuato. I valori degli indici CdZ e AI dopo questi 27 anni (cioè senza considerare i 200 euro mensili del mutuo) sono i seguenti:

<b>Residenza in zona 29 (centro), lavoro in zona 3 (centro)</b>			
AI Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ kwh Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ €/mese Classe Energetica A, senza costi da sostenere	IU Classe Energetica A, senza costi da sostenere
0,15	324	30,84	1811,39
<b>Residenza in zona 9 (periferia), lavoro in zona 3 (centro)</b>			
AI Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ kwh Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ €/mese Classe Energetica A, senza costi da sostenere	IU Classe Energetica A, senza costi da sostenere
0,19	526	55,78	752,66
<b>Residenza in zona 18 (periferia), lavora in 3 (centro)</b>			
AI Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ kwh Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ €/mese Classe Energetica A, senza costi da sostenere	IU Classe Energetica A, senza costi da sostenere
0,19	419	42,55	767,99
<b>Residenza in zona 18 (periferia), lavora in 19 (periferia)</b>			
AI Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ kwh Classe Energetica A, senza costi da sostenere	CdZ €/mese Classe Energetica A, senza costi da sostenere	IU Classe Energetica A, senza costi da sostenere
0,18	369	36,40	780,29

Come si nota, questi ultimi sono i valori più vantaggiosi degli indici.



# CONCLUSIONI

Il lavoro fin qui svolto ha permesso di mettere a confronto degli indici che, seppur accomunati da alcuni dati usati come input, presentano notevoli differenze: il Consumo di Zona effettua la somma tra la spesa energetica per il riscaldamento domestico ed il costo generalizzato di trasporto, l’Affordability Index somma ai due dati del Consumo di Zona anche il costo dell’affitto della casa, e rapporta tale somma al reddito del cittadino, mentre l’Indice Unico compie una somma tra le voci puramente monetarie, ovvero affitti, costo di trasporto monetario e spesa energetica per il riscaldamento.

Una prima, rapida, conclusione ricavabile dall’analisi è la scarsa incidenza che la spesa energetica per il riscaldamento ha nell’applicazione ai due indici (l’AI e l’IU) che hanno una visione complessiva in termini economici: il suo contributo per questi due indici è molto basso, tale da non determinare mai cambiamenti di costi totali per gli utenti passando dai valori più bassi (cioè quelli relativi alle massime efficienze energetiche) a quelli più alti (associati alle basse efficienze energetiche).

Questa voce ha senza dubbio un notevole peso in termini ambientali, e ciò è provato dall’analisi del Consumo di Zona, altrettanto non si può dire per le famiglie che risiedono in aree urbane. Valutando l’impatto che questi costi hanno sulle famiglie, infatti, si riscontra che esso è largamente minoritario, sia rispetto agli affitti, sia rispetto al costo dei trasporti. Una volta monetizzata e considerata assieme ad altri fattori, questa voce non determina spostamenti di valore degli indici, risultando di fatto ininfluenza per la classificazione delle aree della città di Milano.

Il risultato più significativo del presente elaborato è però un altro: il preponderante peso che ha il costo legato agli affitti (inteso, si ripete, come indicatore dei costi legati all’abitazione) sulle altre voci di costo.

Tale peso, come è già stato mostrato, si traduce in un completo ribaltamento di classificazione tra l’indicatore che non fa uso di questa voce di costo (il Consumo di Zona) e gli indicatori che invece lo tengono in considerazione (Affordability Index ed Indice Unico, per i quali, si ricorda, il costo dell’affitto rappresenta l’elemento che maggiormente contribuisce alla determinazione del valore dell’indice). In particolare, Affordability Index e Indice Unico suggeriscono alle famiglie di andare ad abitare nelle zone periferiche, visti gli alti affitti caratteristici delle zone centrali.

Se questa è la voce di spesa che più incide per le famiglie, è dunque questo il settore in cui il pianificatore pubblico può plausibilmente intervenire.

Sicuramente la lettura di questi dati fornisce un incentivo allo sprawl, ovvero alla crescita urbanistica a bassa regolamentazione. Gli alti prezzi degli affitti, infatti, sono imputabili alla regolamentazione che negli ultimi anni è stata applicata in materia edilizia: se è stata regolamentata la costruzione di nuove abitazioni, ponendo vincoli sul consumo del suolo, sulla necessità di creare aree verdi e realizzare edifici che ospitino attività del settore terziario, il bene “casa” seguirà la legge dell’economia per cui se ad un bene vengono posti vincoli, il suo prezzo salirà.

In una di maggiore libertà concessa al settore dell’edilizia si viene a determinare una relativa diffusione del bene “casa”, consentendo così un abbassamento del costo delle abitazioni (che, si ricorda, nel presente lavoro è rappresentato dal costo dell’affitto).

Questa considerazione deve però essere integrata con il risultato offerto dall’indice in cui l’affitto non rientra nel calcolo, e cioè il Consumo di Zona. Per questo indice, con i dati in nostro possesso, risultano più

favorite le aree centrali, poiché sono quelle che si trovano in prossimità degli edifici in cui si trovano servizi e lavoro; i viaggi (e i conseguenti costi) sono quindi più contenuti. Inoltre, queste aree sono quelle che presentano gli edifici a miglior classe energetica. Dal momento che il Consumo di Zona è un indice che meglio dell’Affordability Index permette di valutare la sostenibilità ambientale dei comportamenti dei cittadini, si assiste al seguente trade off: da un punto di vista economico, risulta conveniente risiedere in periferia; da un punto di vista ambientale è preferibile abitare in centro.

Una possibile mediazione è la seguente: nelle grandi (e non solo) città italiane (Milano non costituisce un’eccezione) vi è una significativa presenza di abitazioni sfitte. Le ragioni di questa situazione, che esulano dagli obiettivi di questo elaborato, risiedono nella scelta dei proprietari di sfruttare questi appartamenti sfitti in termini di “investimento sicuro”, nell’attesa dell’innalzamento delle quotazioni immobiliari.

Una scelta politica che miri al riempimento degli appartamenti sfitti nelle aree centrali della città rappresenta quindi la migliore soluzione per integrare le informazioni ottenute dal Consumo di Zona e dall’Affordability Index e dall’Indice Unico. Una possibile soluzione è già stata presentata nel contesto delle ultime elezioni amministrative del Comune di Milano: il Comune interviene con la funzione di garante tra le parti (affittuario e proprietario della casa), garantendo da una parte che l’inquilino continui a pagare l’affitto, e dall’altra che il proprietario della casa non alzi il prezzo dell’affitto. Questa soluzione è considerata migliore a quella della concessione degli affitti a prezzi calmierati, viste le disfunzioni economiche che questi ultimi generano.

Un’ultima osservazione riguarda la variabilità dell’Affordability Index per i casi di famiglie con reddito alto. Come già mostrato nel capitolo 12, la differenza dei valori di Affordability Index tra le cinque aree più favorite e le cinque aree più sfavorite è notevolmente minore nel caso in cui la simulazione sia stata effettuata con riferimento a famiglie con reddito alto. Ne consegue, quindi, che cittadini con redditi alti possono sopportare meglio ai costi più elevati il cui peso è a sua volta rappresentato dall’alto valore dell’Affordability Index. Non è certo questo il primo lavoro che dimostra come chi ha maggiori disponibilità economiche possa ignorare (anche solo in parte) le indicazioni fornite da alcuni indici, ma è comunque interessante notare che in questo caso una scelta contraria al suggerimento dell’indice, dettata da maggiori disponibilità economiche, si concretizza in un vantaggio ambientale per la società. Spesso, infatti, le maggiori disponibilità economiche danno il risultato opposto, ovvero chi ha maggiori disponibilità finanziarie è in grado di sostenere comportamenti ambientalmente poco virtuosi poiché può reggerne i costi. Nella presente situazione, invece, la possibilità di accedere agli affitti delle aree centrali permette ai più facoltosi di andare a risiedere nelle zone dove sarà più basso il loro impatto ambientale.

Lo studio effettuato in questo lavoro costituisce quindi un incentivo alla costruzione di abitazioni a bassi prezzi nei centri città. Se da un punto di vista estetico e di qualità della vita questa scelta è discutibile, dal punto di vista economico, invece, i risultati presentati mostrano un netto suggerimento per questa opzione.

Altra via è il potenziamento del trasporto pubblico nelle aree centrali, che non solo permette di abbassare i costi dei trasporti, ma ha anche l’effetto di rendere vendibili o affittabili le abitazioni vuote.

## Bibliografia

AA.VV., "The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice", Center for Transit Oriented Development and Center for Neighborhood Technology, 2006)

Carotti, Madè, "La casa passiva", 2007

CE Delft, "Handbook of estimation of external costs in the transport sector", 2008

Cernuschi, " Appunti di Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Cenni alle emissioni atmosferiche da attività di combustione", 2011

Comunità Europea, "LIBRO BIANCO - Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile", 2011

de Stasio, Martino, Fiorello, "Availability and Utility of Analytical Techniques. Milestone 2.4 of INTERCONNECT", Co-funded by FP7. TRT Trasporti e Territorio, Italy, 2009

Giugliano, "Emissioni da combustioni mobili", 2011

Grimaldi, Beria, Ponti, "External costs of transport and their internalisation. An efficiency perspective and some policy considerations for Italy", 2011

Micelli, "Introduzione alla rendita fondiaria e alla genesi del valore immobiliare", 2011

Mugnaini e Pozzoli, "Misurare la sostenibilità con il CdZ", 2011

TRT Trasporti e Territorio, "Conceptual frame work", 2011