



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.a. 2024/2025

Sessione di laurea Marzo 2026

**Valutazione dell'impatto dei sistemi  
di misurazione e tariffazione  
puntuale sulla gestione dei rifiuti  
urbani: il caso delle province  
Lombarde**

Relatori:

Lorien Sabatino

Candidati:

Cecilia Marchetti

# Sommario

Questa tesi analizza l'efficacia dell'introduzione di sistemi di misurazione e tariffazione puntuale nella gestione dei rifiuti urbani, distinguendo tra l'adozione della misurazione puntuale del rifiuto residuo e l'introduzione della tariffazione puntuale. L'obiettivo è verificare se l'introduzione di strumenti di misurazione e di un incentivo di prezzo legato ai conferimenti del rifiuto generi benefici ambientali—in termini di incremento della raccolta differenziata e riduzione dell'indifferenziato—ed economici, attraverso il contenimento dei costi del servizio. L'analisi empirica impiega dati comunali per il periodo 2016–2023 e si concentra su quattro province lombarde: Bergamo, caratterizzata da una diffusione della misurazione e dall'adozione della tariffazione in una quota rilevante di comuni, e Lecco, dove la misurazione è avanzata ma non accompagnata da un pieno passaggio alla tariffa corrispettiva; Como e Sondrio sono utilizzate come gruppo di controllo. Dal punto di vista metodologico, si stima un modello Difference-in-Differences con effetti fissi comunali e temporali, sfruttando l'adozione scaglionata delle politiche e controllando per determinanti non osservati invariati nel tempo. I risultati, sia a livello descrittivo sia nell'analisi econometrica, mostrano che misurazione puntuale e tariffazione sono associate a un miglioramento significativo delle performance ambientali: aumenta la raccolta differenziata e si riduce l'indifferenziato, sia in termini totali sia pro capite. Entrambi i sistemi risultano inoltre associati a una diminuzione della produzione complessiva di rifiuti. L'evidenza suggerisce che la misurazione rafforzi tracciabilità dei conferimenti, mentre l'incentivo economico della tariffazione renda più conveniente ridurre il rifiuto residuo e differenziare correttamente. Sul versante economico, la riduzione dei costi complessivi risulta principalmente associata alla misurazione, mentre l'effetto addizionale della tariffazione non emerge come statisticamente

significativo sul totale. Tuttavia, per specifiche componenti di costo si osservano effetti mirati, con riduzioni legate in particolare alla gestione dell'indifferenziato e allo spazzamento. Infine, non si riscontrano effetti statisticamente significativi sulle tariffe applicate.

# Indice

<b>Elenco delle tabelle</b>	VI
<b>Elenco delle figure</b>	VIII
<b>1 Introduzione e contesto</b>	1
1.1 Introduzione . . . . .	1
1.2 Quadro istituzionale e regolatorio . . . . .	2
1.2.1 Quadro UE: obiettivi e strumenti . . . . .	2
1.2.2 Quadro nazionale e governance della gestione dei rifiuti in Italia . . . . .	4
1.2.3 Strumenti tariffari e regolazione economica del servizio . . . . .	7
1.2.4 Qualità del servizio e adozione del PAYT: il ruolo del TQRIF	10
1.2.5 L’abilitazione tecnologica: Internet of Things e tracciabilità . . . . .	12
1.3 Contesto territoriale . . . . .	13
1.3.1 Andamento nazionale della raccolta differenziata e della produzione dei rifiuti . . . . .	13
1.3.2 Il contesto regionale: la Lombardia e la provincia di Lecco e Bergamo . . . . .	15
1.3.3 Il quadro economico e i costi di gestione in Italia . . . . .	17
1.3.4 Diffusione dei sistemi di tariffazione puntuale in Italia . . . . .	17
1.4 I casi studio delle province di Bergamo e Lecco . . . . .	21
1.4.1 La provincia di Bergamo: tariffazione puntuale e integrazione di strumenti informativi . . . . .	22

1.4.2	La provincia di Lecco: misurazione puntuale e tracciamento dei conferimenti . . . . .	25
<b>2</b>	<b>Rassegna della letteratura</b>	<b>27</b>
2.1	Il modello della deterrenza economica . . . . .	27
2.2	Asimmetrie informative e ruolo della digitalizzazione . . . . .	30
2.3	I sistemi di tariffazione puntuale e i rischi comportamentali . . . . .	31
2.4	Determinanti istituzionali e fattori politici nell'adozione dei sistemi PAYT . . . . .	32
2.5	Obiettivi empirici e domande di ricerca . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Dati e metodologia</b>	<b>35</b>
3.1	Fonti dei dati . . . . .	35
3.2	Costruzione del dataset . . . . .	37
3.2.1	Fasi di costruzione del dataset integrato . . . . .	37
3.3	Analisi descrittiva preliminare . . . . .	40
3.3.1	Andamento della raccolta differenziata . . . . .	40
3.3.2	Rifiuti indifferenziati pro capite . . . . .	44
3.3.3	Produzione totale di rifiuti pro capite . . . . .	48
3.3.4	Considerazioni e implicazioni di policy . . . . .	50
3.4	Analisi economica e dei costi . . . . .	52
3.4.1	Andamento del costo totale pro capite . . . . .	52
3.5	Metodologia econometrica . . . . .	55
3.5.1	Disegno di identificazione e validità causale . . . . .	55
3.5.2	Il modello stimato . . . . .	57
3.5.3	Pattern di adozione e copertura del trattamento . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Risultati dell'analisi econometrica e discussione</b>	<b>60</b>
4.1	Inquadramento dell'analisi e richiamo agli obiettivi . . . . .	60
4.2	Struttura delle stime e interpretazione dei coefficienti . . . . .	60
4.3	Risultati dell'adozione della sola misurazione puntuale . . . . .	62
4.3.1	Adozione della misurazione puntuale e caratteristiche dei comuni . . . . .	62
4.3.2	Effetti sulla produzione e composizione dei rifiuti . . . . .	63

4.3.3	Effetti economici della sola misurazione . . . . .	66
4.4	Risultati dell'adozione della tariffazione puntuale . . . . .	67
4.4.1	Adozione della TARIP e caratteristiche dei comuni . . . . .	67
4.4.2	Effetti sulla produzione e composizione dei rifiuti . . . . .	68
4.4.3	Effetti economici della tariffazione puntuale . . . . .	71
4.5	Discussione complessiva dei risultati . . . . .	72
4.6	Limiti dell'analisi . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>76</b>
5.1	Risposte alle domande di ricerca e verifica delle ipotesi . . . . .	76
5.2	Limiti del sistema puntuale . . . . .	77
5.2.1	Comportamenti opportunistici e inquinamento delle frazioni	77
5.2.2	Limiti strutturali della tariffazione puntuale . . . . .	79
5.2.3	Mancanza di omogeneità tra i Comuni . . . . .	80
5.3	Prossimi passi per la tariffazione puntuale in Italia . . . . .	82
5.4	Prospettive di ricerca futura . . . . .	83
	<b>Bibliografia</b>	<b>85</b>
	<b>Sitografia</b>	<b>88</b>

# Elenco delle tabelle

1.1	Regimi di prelievo per la copertura dei costi del servizio di gestione dei rifiuti urbani. Fonte: IV Rapporto IFEL – Dati 2023 [8]	7
3.1	Variabili derivate.	38
3.2	Legenda delle variabili del dataset integrato.	39
3.3	Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Lecco (2016–2023).	41
3.4	Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Bergamo (2016–2023).	43
3.5	Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite (kg/abitante) nella provincia di Lecco (2016–2023).	44
3.6	Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite (kg/abitante) nella provincia di Bergamo (2016–2023).	46
3.7	Pattern di adozione scaglionata: comuni e popolazione per stato di trattamento (2016–2023).	58
4.1	Misurazione puntuale per classi demografiche (Bergamo e Lecco, 2023).	62
4.2	Effetti della misurazione puntuale sulle performance ambientali.	64
4.3	Effetti della misurazione puntuale su RU pro capite.	65
4.4	Effetti della misurazione puntuale sulle variabili economiche.	66
4.5	Tariffazione puntuale (TARIP) per classi demografiche (Bergamo e Lecco, 2023).	67
4.6	Effetti della tariffazione puntuale (TARIP) sulle performance ambientali.	69

4.7	Effetti della tariffazione puntuale (TARIP) sulle performance ambientali. . . . .	70
4.8	Effetti della tariffazione puntuale (TARIP) sulle variabili economiche.	71

# Elenco delle figure

1.1	Schematizzazione della governance multilivello del servizio di gestione dei rifiuti urbani in Italia. Fonte: Fondazione Utilitatis, <i>Green Book 2024</i> [4]. . . . .	4
1.2	Matrice degli Schemi regolatori ARERA: classificazione delle gestioni in base alla qualità contrattuale e tecnica. Fonte: Arera [13]. . . . .	11
1.3	Andamento della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani in Italia e per macroarea geografica anni 2019–2023. Fonte: Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2024 [12]. . . . .	14
1.4	Andamento della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani per regione anni 2022-2023. Fonte: Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2024 [12]. . . . .	15
1.5	Percentuale di raccolta differenziata per provincia nella Regione Lombardia anno 2023. Fonte: Catasto Nazionale Rifiuti – sezione regionale Lombardia [12]. . . . .	16
1.6	Costo medio pro capite del servizio di igiene urbana per macroarea geografica anni 2022–2023. Elaborazione propria su dati ISPRA, [12].	17
1.7	Comuni italiani in tariffazione puntuale e popolazione servita (valori assoluti e percentuali), anni 2019–2023. Fonte: elaborazione su dati IFEL [8]. . . . .	18
1.8	Comuni italiani in tariffazione puntuale nel 2023. Fonte: elaborazione su dati IFEL [8]. . . . .	19
1.9	Nuovi Comuni che hanno introdotto la tariffazione puntuale per area geografica anni 2019–2023. Fonte: elaborazione su dati IFEL. . . . .	20

1.10	Distribuzione dei Comuni della provincia di Bergamo per tipologia di regime di prelievo dei rifiuti urbani anno 2024 [14]	22
1.11	Tipologie di regime di prelievo dei rifiuti urbani nella provincia di Bergamo. Fonte: Provincia di Bergamo, Osservatorio Provinciale Rifiuti (2024) [14]	23
1.12	Piano di attivazione del “Progetto Sacco Rosso” nella provincia di Lecco. Fonte: SILEA S.p.A., 2025.	26
3.1	Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Lecco (2016–2023).	42
3.2	Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Bergamo (2016–2023).	43
3.3	Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite nella provincia di Lecco (2016–2023).	45
3.4	Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite nella provincia di Bergamo (2016–2023).	46
3.5	Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite: confronto Bergamo–Lecco–Lombardia (2016–2023).	47
3.6	Andamento della produzione totale di rifiuti pro capite (kg/ab) nella provincia di Lecco (2016–2023).	48
3.7	Andamento della produzione totale di rifiuti pro capite (kg/ab) nella provincia di Bergamo (2016–2023).	49
3.8	Andamento della produzione totale di rifiuti urbani pro capite: confronto Bergamo–Lecco–Lombardia (2016–2023).	50
3.9	Andamento del costo totale pro capite nella provincia di Lecco (2016–2023).	52
3.10	Andamento del costo totale pro capite nella provincia di Bergamo (2016–2023).	54

# Capitolo 1

## Introduzione e contesto

### 1.1 Introduzione

L'obiettivo di questa tesi è valutare l'efficacia dell'introduzione dei sistemi di tracciamento e di tariffazione puntuale nelle quattro province lombarde selezionate come casi studio. L'indagine mira a verificare, da un lato, se tale innovazione abbia prodotto miglioramenti nelle performance ambientali, in termini di incremento della raccolta differenziata e di riduzione del rifiuto indifferenziato e, dall'altro, se abbia contribuito a maggiori livelli di efficienza economica, valutando l'andamento dei costi e delle tariffe del servizio.

L'analisi è di tipo comparativo e si basa sul confronto tra le province di Bergamo, Como, Lecco e Sondrio. Tale confronto risulta particolarmente significativo non solo per la vicinanza geografica dei territori considerati, ma anche per le marcate differenze nelle modalità di adozione dei sistemi di misurazione e tariffazione puntuale.

La provincia di Bergamo ha implementato sia la misurazione puntuale del rifiuto residuo sia un sistema di tariffazione puntuale, in una quota rilevante di Comuni. La provincia di Lecco ha invece introdotto un sistema avanzato di tracciamento del rifiuto secco residuo basato sulla misurazione puntuale, senza tuttavia completare il passaggio a un sistema di tariffazione puntuale.

Le province di Como e Sondrio sono state infine selezionate come gruppo di controllo, in quanto nel periodo di osservazione non hanno introdotto modifiche

rilevanti nei sistemi di tariffazione o di misurazione dei rifiuti urbani. La loro inclusione contribuisce a identificare gli effetti delle riforme implementate nelle province di Bergamo e Lecco, costituendo una valida base di confronto per l'identificazione degli impatti associati all'introduzione dei sistemi di misurazione e tariffazione puntuale.

Questo confronto permette di isolare gli effetti del cambiamento gestionale e di osservare come differenti assetti amministrativi e strumenti tariffari possano tradursi in risultati divergenti in termini di efficacia ed efficienza del servizio di igiene urbana, a parità di contesto geografico e socioeconomico.

Le province scelte costituiscono quindi un contesto ideale per valutare l'impatto concreto della transizione digitale nella gestione dei rifiuti, in un quadro regolatorio in rapido mutamento. L'obiettivo della tesi è contribuire alla letteratura empirica sulla tariffazione puntuale in Italia, fornendo evidenze sull'efficacia ambientale ed economica del modello di gestione adottato.

## **1.2 Quadro istituzionale e regolatorio**

L'introduzione dei sistemi digitali di tracciamento dei rifiuti rappresenta non solo un'evoluzione tecnologica, ma anche un cambiamento istituzionale verso forme di governance ambientale basate sui dati. In tale prospettiva, la digitalizzazione consente alle amministrazioni locali di progettare strumenti economici coerenti con il principio europeo del "chi inquina paga", rafforzando la trasparenza del servizio e la responsabilizzazione dei cittadini rispetto ai propri comportamenti di conferimento.

Questo approccio si inserisce nel più ampio quadro delle politiche ambientali dell'Unione Europea, che promuovono l'integrazione tra obiettivi ambientali e strumenti economici nella gestione dei rifiuti e nella transizione verso l'economia circolare.

### **1.2.1 Quadro UE: obiettivi e strumenti**

La gestione dei rifiuti costituisce una priorità centrale della politica ambientale dell'Unione Europea, sempre più orientata verso un modello di economia circolare

che privilegia la prevenzione della produzione dei rifiuti, il miglioramento delle pratiche di gestione e un utilizzo più efficiente delle risorse disponibili [1].

Il principale riferimento normativo in questo ambito è la Direttiva (UE) 2018/851. Essa introduce innanzitutto una serie di definizioni aggiornate — tra cui quelle di rifiuti urbani, rifiuti organici, rifiuti alimentari e recupero di materia — finalizzate a garantire una maggiore comparabilità dei dati tra gli Stati membri. La direttiva rafforza inoltre il ruolo dei regimi di responsabilità estesa del produttore (Extended Producer Responsibility, EPR), definendo requisiti minimi comuni di natura organizzativa e finanziaria, volti a coinvolgere attivamente i produttori nella progettazione di prodotti più durevoli.

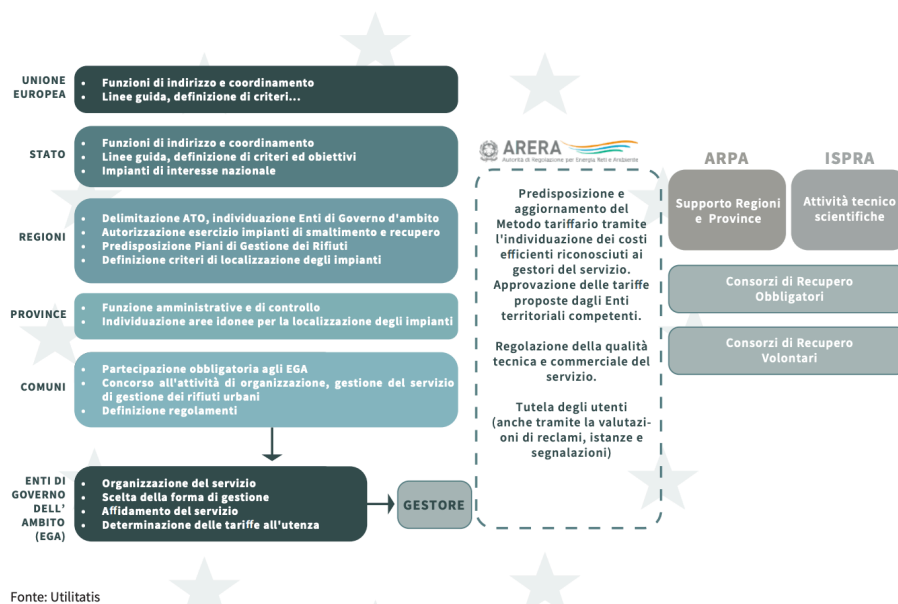
Gli Stati membri sono pertanto chiamati ad adottare politiche pubbliche coerenti con la gerarchia dei rifiuti, che privilegia la prevenzione, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio, relegando il recupero energetico e lo smaltimento in discarica a opzioni residuali. Tra gli strumenti economici individuati dalla direttiva figurano esplicitamente i sistemi di tariffazione puntuale, affiancati da misure quali incentivi alla raccolta differenziata e forme di imposizione su discarica e incenerimento. Al fine di rafforzare la tracciabilità dei flussi e la qualità delle informazioni, la normativa europea richiede inoltre agli Stati membri l'istituzione di registri elettronici nazionali per la registrazione e il monitoraggio dei rifiuti, nonché l'adozione di sistemi di raccolta dati in grado di garantire affidabilità, verificabilità e confrontabilità delle informazioni [2].

La Direttiva 2018/851 introduce, infine, obiettivi vincolanti di riciclaggio dei rifiuti urbani, fissati ad almeno il 55% in peso entro il 2025, il 60% entro il 2030 e il 65% entro il 2035. Tali target sono accompagnati da criteri più stringenti di calcolo, che richiedono che i rifiuti raccolti separatamente siano effettivamente avviati a operazioni di riciclaggio o riutilizzo, evitando pratiche che ne comportino lo smaltimento in discarica o l'incenerimento. In questo modo, la normativa mira a garantire coerenza tra l'impegno richiesto ai cittadini e l'effettivo recupero delle risorse. La ripartizione dei costi del servizio di gestione dei rifiuti si fonda infine sul principio del "chi inquina paga", sancito dall'articolo 14 della direttiva quadro sui rifiuti, secondo cui i costi devono essere sostenuti dal produttore originario o dal detentore dei rifiuti. In tale contesto, i sistemi tariffari commisurati ai conferimenti effettivi, come la tariffazione puntuale, risultano pienamente coerenti con il quadro

normativo europeo, poiché consentono di allineare il prelievo economico alla quantità reale di rifiuto residuo prodotto, rafforzando gli incentivi alla riduzione e alla corretta separazione dei rifiuti [3].

## 1.2.2 Quadro nazionale e governance della gestione dei rifiuti in Italia

La gestione dei rifiuti urbani in Italia è articolata su più livelli istituzionali, come sintetizzato nella Figura 1.1. Essa illustra la ripartizione delle competenze tra Unione Europea, Stato, Regioni ed enti locali.



**Figura 1.1:** Schematizzazione della governance multilivello del servizio di gestione dei rifiuti urbani in Italia. Fonte: Fondazione Utilitatis, *Green Book 2024* [4].

Il quadro normativo europeo trova applicazione attraverso un'articolata struttura istituzionale nazionale. Lo Stato italiano infatti, attraverso il recepimento delle direttive europee, definisce le cornici fiscali e regolatorie e assegna le competenze.

Lo Stato disciplina la natura tributaria del prelievo e affida ad Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) il compito di regolare i criteri di determinazione dei costi, i livelli di qualità e i metodi tariffari del servizio.

Le Regioni esercitano funzioni di pianificazione strategica e di indirizzo, predisponendo i Piani regionali di gestione dei rifiuti e programmando la rete impiantistica. Inoltre, delimitano gli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) e individuano, per ciascuno di essi, un Ente di Governo d'Ambito (EGA), responsabile della regolazione locale e della coerenza economica del servizio. Gli ATO e gli EGA hanno competenze di coordinamento e pianificazione, ma non sostituiscono la potestà regolamentare dei Comuni, che rimangono titolari dell'organizzazione del servizio di igiene urbana.

L'articolo 198 del *D.Lgs. 152/2006* attribuisce infatti ai Comuni la responsabilità diretta dell'organizzazione dei servizi di raccolta e trasporto dei rifiuti urbani, da esercitare mediante regolamenti propri. In base a tale norma, i Comuni disciplinano in autonomia le modalità di conferimento, la frequenza della raccolta e l'eventuale adozione di sistemi di misurazione puntuale del rifiuto residuo. Tale potestà è confermata anche dall'articolo 52 del *D.Lgs. 446/1997*, che riconosce agli enti locali autonomia regolamentare in materia di entrate, e dalla *Legge 147/2013* (commi 667–668), che consente di sostituire la Tassa sui Rifiuti tradizionale con una tariffa corrispettiva commisurata alla quantità effettiva di rifiuti conferiti [5, 6]. Il Decreto Ministeriale 20 Aprile 2017 ha successivamente definito i criteri tecnici per la realizzazione di sistemi di misurazione puntuale della quantità di rifiuti conferiti, stabilendo che la tariffa può essere calcolata in base al peso, al volume o al numero di svuotamenti del rifiuto residuo. È tuttavia importante sottolineare che il decreto non introduce un metodo tariffario uniforme, ma disciplina principalmente gli aspetti tecnico-operativi della misurazione e della gestione dei dati, prevedendo anche la possibilità di applicare correttivi per tener conto di condizioni specifiche delle utenze e dei contesti locali. Questa impostazione contribuisce a spiegare l'eterogeneità dei modelli adottati dai Comuni, che possono differire non solo nella tecnologia di misurazione, ma anche nella struttura dell'incentivo economico associato.

Il quadro nazionale mostra inoltre un processo di attuazione degli EGA ancora incompleto. Secondo i dati più recenti [4], nel 2024 solo 10 Regioni risultano dotate di Enti di governo pienamente operativi, mentre altre si trovano in fasi parziali di

implementazione o non hanno ancora costituito alcun organismo. Questa disomogeneità istituzionale contribuisce alla frammentazione del sistema italiano di gestione dei rifiuti e influenza la possibilità per i singoli territori di introdurre strumenti avanzati come la tariffazione puntuale. Inoltre, l'attuazione degli ATO e degli EGA presenta significative eterogeneità non solo sul piano istituzionale, ma anche su quello operativo. Gli ambiti differiscono infatti per i modelli di affidamento, per il grado di integrazione della gestione e per la capacità di adottare strumenti tariffari avanzati come la misurazione puntuale. Questa variabilità costituisce un elemento strutturale del sistema italiano e risulta particolarmente rilevante ai fini dell'analisi empirica condotta in questa tesi. Un elemento fondamentale per l'interpretazione del caso studio di questa tesi è la specificità della Regione Lombardia. Avvalendosi della facoltà di deroga prevista dall'articolo 200, comma 7, del *D.Lgs 152/2006*, la Lombardia ha adottato un modello organizzativo che non impone l'unicità di gestione a livello provinciale, ma valorizza le aggregazioni comunali. Sebbene siano presenti strutture di coordinamento e controllo a livello sovracomunale, l'organizzazione operativa del servizio e le scelte in materia di tariffazione puntuale rimangono saldamente in capo ai Comuni o ai consorzi di Comuni. Come si osserverà nel confronto tra Bergamo e Lecco, tale assetto determina che, anche all'interno della stessa provincia o di territori contigui, possano coesistere velocità di innovazione molto diverse, dipendenti dalla volontà politica locale e dalla struttura del gestore affidatario. Un ultimo elemento rilevante introdotto dal legislatore europeo riguarda il rafforzamento dei regimi di responsabilità estesa del produttore [7]. In questo ambito, l'Unione Europea prevede che i produttori sostengano una quota più elevata dei costi di gestione degli imballaggi; In Italia tali costi sono oggi parzialmente coperti dai corrispettivi riconosciuti dal Consorzio Nazionale Imballaggi (CONAI) nell'ambito del sistema EPR per gli imballaggi, contribuendo a sostenere una quota dei costi (o maggiori oneri) associati alla raccolta differenziata e al trattamento degli imballaggi conferiti al servizio pubblico. Il quadro europeo rafforza il principio secondo cui i produttori devono coprire una quota più elevata dei costi necessari di gestione, orientando il sistema verso un maggiore trasferimento dell'onere dal livello locale ai produttori.

### 1.2.3 Strumenti tariffari e regolazione economica del servizio

Alla luce di questo quadro europeo, è utile analizzare come il servizio di gestione dei rifiuti urbani venga finanziato e regolato nel contesto italiano. In Italia, il sistema di finanziamento della gestione dei rifiuti urbani si basa principalmente sulla Tassa sui Rifiuti (TARI), un tributo comunale destinato a coprire integralmente i costi del servizio di gestione — inclusi raccolta, trasporto, trattamento, spazzamento e costi generali — ed è dovuto da tutte le utenze domestiche e non domestiche, ossia famiglie e imprese. All'interno di questo quadro generale, la copertura dei costi può avvenire attraverso differenti regimi di prelievo, che si distinguono sia per la natura giuridica del prelievo (tributaria o corrispettiva) sia per i criteri di determinazione della tariffa. La Tabella 1.1 sintetizza le principali caratteristiche dei regimi di prelievo attualmente applicabili, mettendo in evidenza le differenze in termini di struttura tariffaria, metodi di calcolo e obblighi di misurazione dei rifiuti.

**Tabella 1.1:** Regimi di prelievo per la copertura dei costi del servizio di gestione dei rifiuti urbani. Fonte: IV Rapporto IFEL – Dati 2023 [8]

Regime di prelievo	Natura del prelievo	Struttura tariffaria	Criteri di calcolo	Misurazione dei rifiuti
TARI presuntiva monomia	Tributo	Quota unica	Superficie dell'immobile; tipologia di utenza	Non prevista
TARI presuntiva binomia	Tributo	Quota fissa + quota variabile	UD: superficie e componenti nucleo; UND: superficie e tipologia attività	Non prevista
TARI tributo puntuale	Tributo	Quota fissa + quota variabile (in parte misurata)	Superficie, nucleo familiare e quantità conferita	Misurazione del RUR e/o frazioni riciclabili
Tariffa corrispettiva (TARIP)	Corrispettivo	Quota fissa + quota variabile + quota misurata	Schema libero; almeno una componente legata al RUR	Misurazione obbligatoria del RUR

*Nota:* UD e UND indicano rispettivamente le Utenze Domestiche e le Utenze Non Domestiche. RUR si riferisce al Rifiuto Urbano Residuo, ossia la frazione di rifiuto urbano non avviata a raccolta differenziata e generalmente conferita nel flusso dell'indifferenziato, assunta come principale riferimento nei sistemi di tariffazione puntuale.

La distinzione tra regimi di natura tributaria e regimi di natura corrispettiva non si esaurisce nei criteri di calcolo, ma comporta differenze rilevanti anche sul piano amministrativo e giuridico. Nei regimi tributari, il prelievo mantiene la qualificazione di tributo comunale e si colloca al di fuori del campo applicativo dell’IVA; nei regimi corrispettivi, il pagamento assume la forma di corrispettivo per il servizio, con applicazione dell’IVA e con modalità di fatturazione che possono essere affidate al gestore del servizio. Ne derivano differenze anche nella gestione del rapporto con l’utenza e del contenzioso, oltre a possibili implicazioni distributive tra utenze domestiche e non domestiche, per le quali l’incidenza dell’IVA può risultare differente. Indipendentemente dal regime di prelievo adottato, la tariffa del servizio si articola generalmente in una componente fissa e in una componente variabile, cui può aggiungersi, nei sistemi puntuali, una quota direttamente legata alla produzione di rifiuto. Nei sistemi TARIP maturi, tale componente può essere interpretata come una quota variabile misurata, distinta dalla parte variabile calcolata su basi presuntive: in questa prospettiva, la tariffa può essere letta come almeno “trinomia”, composta da una quota fissa (TF), una quota variabile calcolata (TVc) e una quota variabile misurata (TVm) commisurata ai conferimenti effettivi, generalmente riferiti al rifiuto urbano residuo. Nella prassi applicativa, la componente misurata è spesso associata a un numero minimo di conferimenti inclusi o a soglie di base, mentre la progressività si applica sulle eccedenze: ciò consente di garantire stabilità di gettito e copertura dei costi incompressibili, ma può attenuare l’incentivo marginale per le utenze che si collocano al di sotto dei livelli minimi. La quota fissa è determinata sulla base di parametri dimensionali dell’utenza, in particolare la superficie dell’immobile, ed è finalizzata alla copertura dei costi incompressibili del servizio. La quota variabile è invece destinata a coprire i costi operativi del servizio di raccolta e trasporto dei rifiuti e, nei sistemi presuntivi, è calcolata mediante indicatori indiretti della potenziale produzione di rifiuti: per le utenze domestiche essa dipende tipicamente dalla composizione del nucleo familiare, mentre per le utenze non domestiche è determinata dalla tipologia di attività economica e dalla superficie occupata. Nei regimi di tariffazione puntuale, la componente variabile è almeno in parte commisurata ai conferimenti effettivi, attraverso la misurazione del rifiuto urbano residuo [9]. La definizione delle componenti tariffarie e dei criteri di calcolo si inserisce all’interno di un quadro regolatorio nazionale volto ad assicurare

uniformità nell'applicazione delle tariffe sul territorio. Per garantire trasparenza e confrontabilità delle tariffe, le funzioni di regolazione economica e di controllo nel settore dei rifiuti urbani sono state attribuite, a partire dal 2018, ad ARERA [10]. L'Autorità esercita un ruolo di regolatore indipendente, con diverse funzioni tra loro complementari. In primo luogo, definisce i metodi tariffari nazionali per la determinazione dei costi efficienti di gestione, assicurando criteri uniformi e coerenti sul territorio. Inoltre, svolge attività di monitoraggio e vigilanza sull'operato degli enti di governo d'ambito e dei gestori, con la possibilità di adottare azioni correttive o sanzioni in caso di irregolarità. Parallelamente, ARERA tutela gli utenti finali, garantendo la trasparenza delle informazioni economiche, la possibilità di presentare reclami e segnalazioni, e promuovendo investimenti infrastrutturali finalizzati a migliorare l'efficienza, la qualità e la sicurezza dei servizi ambientali. Per esercitare tali funzioni, ARERA ha introdotto un metodo tariffario nazionale. La prima applicazione, denominata Metodo Tariffario Rifiuti (MTR) 2020–2021 (*Delibera 443/2019*), ha stabilito criteri uniformi per la determinazione dei costi del servizio: raccolta e trasporto, trattamento dell'indifferenziato e del differenziato, spazzamento, costi comuni e remunerazione del capitale. Successivamente, con la *Delibera 363/2021*, è stato adottato il MTR-2 per il periodo 2022–2025, che ha rafforzato tali criteri con l'obiettivo di incentivare l'efficienza, creare parametri di confronto tra territori e rendere le tariffe più stabili e prevedibili [11]. Accanto alla regolazione economica del servizio, il legislatore ha introdotto strumenti di digitalizzazione e tracciabilità dei flussi di rifiuti. Un esempio rilevante è il Registro Elettronico Nazionale per la Tracciabilità dei Rifiuti (RENTRI), istituito dal *D.Lgs.116/2020* in attuazione delle direttive europee sull'economia circolare e disciplinato dal D.M. 59/2023 [2]. Il RENTRI è una piattaforma digitale nazionale gestita dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, in collaborazione con l'Albo Nazionale Gestori Ambientali e l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) [12]. Questa infrastruttura consente la digitalizzazione uniforme dei registri di carico e scarico e dei formulari di identificazione dei rifiuti, tramite i quali i gestori comunicano le quantità di rifiuti prodotti, trasportati e avviati a trattamento. L'intero flusso dei rifiuti urbani può così essere monitorato in modo continuo e trasparente dalle autorità competenti, secondo le linee guida stabilite dall'Unione Europea. L'operatività del RENTRI è introdotta in modo

graduale, con obblighi scaglionati per categorie di soggetti e dimensione, nel periodo 2024–2026: inizialmente per grandi produttori, trasportatori e impianti di trattamento, poi per tutte le categorie di soggetti obbligati. I principali obiettivi sono tre: rafforzare la trasparenza e la legalità dei flussi, semplificare gli adempimenti amministrativi grazie alla digitalizzazione e migliorare la qualità dei dati per il monitoraggio e la pianificazione delle politiche ambientali. In questo senso, il RENTRI rappresenta un passo cruciale per allineare la gestione italiana dei rifiuti agli standard europei, promuovendo maggiore efficienza e sostenibilità.

#### **1.2.4 Qualità del servizio e adozione del PAYT: il ruolo del TQRIF**

Un ulteriore elemento essenziale per comprendere le differenze territoriali nell'adozione della tariffazione puntuale è rappresentato dal quadro regolatorio introdotto da ARERA con la deliberazione 15/2022/R/rif, che istituisce il Testo unico per la regolazione della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani (TQRIF). Tale provvedimento definisce un insieme uniforme di obblighi di qualità contrattuale e tecnica, validi per tutte le gestioni del Paese, con l'obiettivo di ridurre le storiche eterogeneità territoriali e garantire livelli minimi omogenei di performance, trasparenza e tutela dell'utenza [13]. La delibera introduce una matrice articolata in quattro Schemi regolatori (dallo Schema I, livello qualitativo minimo, allo Schema IV, livello avanzato), che classificano ogni gestione sulla base dei livelli di qualità contrattuale e tecnica già erogati e documentati (Figura 1.2). La qualità contrattuale riguarda il rapporto tra gestore e utente — informazioni al pubblico, gestione di reclami e segnalazioni, pubblicazione e rispetto della Carta della qualità — mentre la qualità tecnica si riferisce agli aspetti operativi del servizio, quali continuità e regolarità della raccolta, tempi di pronto intervento, gestione delle interruzioni e adeguatezza delle dotazioni.

		PREVISIONI DI OBBLIGHI E STRUMENTI DI CONTROLLO IN MATERIA DI QUALITÀ TECNICA (CONTINUITÀ, REGOLARITÀ E SICUREZZA DEL SERVIZIO)	
		QUALITÀ TECNICA= NO	QUALITÀ TECNICA= SI
		PREVISIONI DI OBBLIGHI IN MATERIA DI QUALITÀ CONTRATTUALE	QUALITÀ CONTRATTUALE = NO
QUALITÀ CONTRATTUALE = SI	SCHEMA II LIVELLO QUALITATIVO INTERMEDIO		SCHEMA IV LIVELLO QUALITATIVO AVANZATO

**Figura 1.2:** Matrice degli Schemi regolatori ARERA: classificazione delle gestioni in base alla qualità contrattuale e tecnica. Fonte: Arera [13].

Il posizionamento in uno degli Schemi determina il set di obblighi che ciascun gestore deve rispettare. Lo Schema I prevede gli obblighi minimi, destinati alle gestioni che presentano carenze sia tecniche sia contrattuali; gli Schemi II e III introducono livelli intermedi con standard più stringenti, rispettivamente per le gestioni con qualità contrattuale adeguata ma qualità tecnica insufficiente, e per quelle con buona qualità tecnica ma carenze sul piano informativo e relazionale; lo Schema IV, infine, è riservato alle gestioni più virtuose e richiede l'adozione di standard migliorativi su entrambe le dimensioni. L'attuazione del TQRIF è concepita da ARERA come un percorso graduale, che deve tenere conto dei differenti livelli di partenza dei gestori: l'innalzamento degli standard qualitativi richiede infatti investimenti in tecnologie, attrezzature, sistemi informativi e personale. Per questo motivo, l'eventuale passaggio a uno schema regolatorio superiore deve essere programmato nel Piano Economico Finanziario (PEF) e risultare compatibile con i limiti alla crescita tariffaria stabiliti dal metodo MTR-2. Tale impostazione conferma come la qualità del servizio non sia un elemento indipendente dal quadro economico-regolatorio, ma una variabile che interagisce direttamente con la sostenibilità tariffaria e con le capacità operative dei gestori. Questo quadro regolatorio risulta particolarmente rilevante per l'introduzione dei sistemi *Pay-as-you-throw* (PAYT). L'adozione della misurazione puntuale del rifiuto residuo presuppone infatti la disponibilità di requisiti tecnologici, organizzativi e informativi che non tutte le gestioni sono immediatamente in grado di soddisfare: sistemi di identificazione univoca dei conferimenti (RFID, codici temporanei o dispositivi analoghi),

strumenti affidabili di tracciamento e contabilizzazione, software gestionali integrati, ispettori ambientali, procedure di reporting e un rapporto con l'utenza conforme agli standard ARERA. Di conseguenza, l'implementazione della tariffazione puntuale tende a concentrarsi nei contesti in cui i gestori dispongono già di una struttura amministrativa e tecnologica adeguata. Le evidenze raccolte nel caso della provincia di Sondrio risultano emblematiche. Secondo interlocuzioni con l'amministrazione, l'introduzione della misurazione puntuale non è attesa prima del 2027, anche in relazione al percorso di adeguamento agli schemi del TQRIF. Gli ostacoli principali riguardano la mancanza degli strumenti necessari per verificare i conferimenti, come l'assenza di hardware per la verifica, la necessità di formare personale tecnico e l'obbligo di aggiornare la Carta dei Servizi. Si tratta di criticità coerenti con quanto previsto dal TQRIF e che spiegano perché alcuni Comuni, pur essendo potenzialmente interessati alla tariffazione puntuale, non siano nella condizione di introdurla nell'immediato. Nel complesso, il TQRIF permette di interpretare in chiave istituzionale le differenze territoriali nella diffusione della tariffazione puntuale. I Comuni collocati negli schemi regolatori più elevati, risultano maggiormente predisposti alla transizione verso modelli PAYT. Al contrario, le gestioni collocate negli schemi inferiori devono affrontare costi di adeguamento più elevati e tempistiche di transizione più lunghe. Tale dinamica introduce un potenziale *bias* di selezione: i Comuni che adottano il PAYT tendono a essere realtà amministrativamente più solide e con una dotazione tecnologica già coerente con i requisiti ARERA, condizione che deve essere considerata nell'interpretazione dei risultati empirici e nella comparabilità tra Comuni adottanti e non adottanti.

### **1.2.5 L'abilitazione tecnologica: Internet of Things e tracciabilità**

L'introduzione dei sistemi di misurazione e tariffazione puntuale si inserisce in un processo più ampio di digitalizzazione dei servizi pubblici locali, nel quale la gestione dei rifiuti urbani evolve progressivamente verso un modello basato sulla raccolta sistematica e sull'utilizzo strutturato dei dati. In questo contesto, le tecnologie di *Internet of Things* (IoT) costituiscono un'infrastruttura informativa che abilita nuove modalità di governo del servizio, orientate al monitoraggio continuo, alla

trasparenza e alla valutazione delle performance. I sistemi IoT consentono di superare una gestione prevalentemente statica del servizio, introducendo logiche di osservazione in tempo reale dei flussi e dei processi all'interno di piattaforme digitali centralizzate. Ciò amplia in modo significativo la base informativa a disposizione dei gestori e delle amministrazioni locali, rafforzandone la capacità di pianificazione e controllo. Un aspetto rilevante dell'abilitazione tecnologica riguarda il passaggio da una misurazione finalizzata esclusivamente al calcolo tariffario a un utilizzo più ampio del dato come strumento di gestione. Le informazioni raccolte possono essere impiegate per il controllo della qualità del servizio, l'individuazione tempestiva di anomalie operative, la valutazione dell'efficienza dei processi e il supporto alle decisioni di pianificazione. In questo senso, la tracciabilità assume una valenza non solo tecnica, ma anche gestionale e istituzionale, contribuendo al rafforzamento della capacità di controllo pubblico e alla coerenza con gli obiettivi di qualità introdotti dalla regolazione nazionale.

Accanto a questi profili, l'infrastruttura digitale abilita forme avanzate di interazione informativa con l'utenza. La disponibilità di dati puntuali sui comportamenti di conferimento consente infatti di sviluppare strumenti di comunicazione personalizzata e di restituzione informativa, favorendo una maggiore consapevolezza individuale e rafforzando i meccanismi di responsabilizzazione dei cittadini.

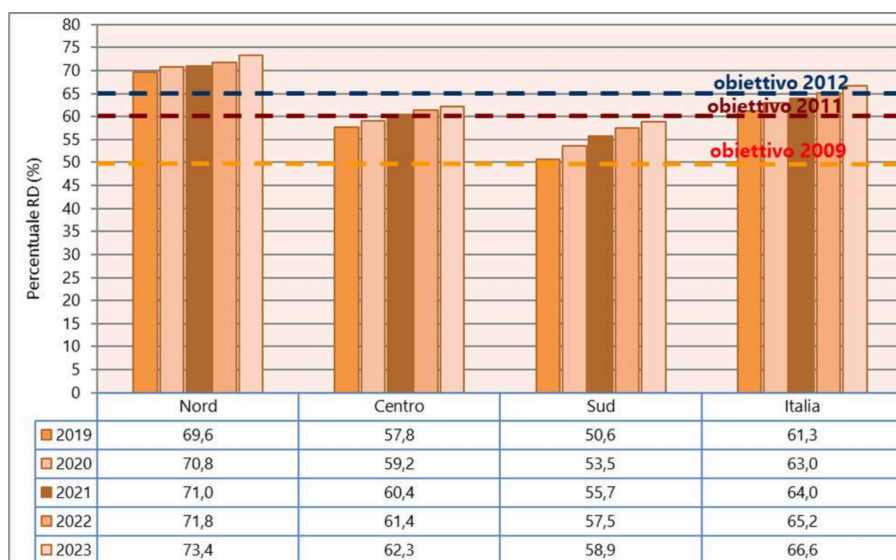
Nel complesso, la diffusione delle tecnologie IoT e dei sistemi di tracciabilità contribuisce a ridefinire la gestione dei rifiuti urbani come un sistema socio-tecnico integrato, nel quale strumenti digitali, assetti regolatori e meccanismi di incentivazione economica interagiscono. Tale evoluzione fornisce il fondamento tecnologico su cui si innestano le diverse configurazioni della tariffazione puntuale, analizzate nei paragrafi successivi.

## **1.3 Contesto territoriale**

### **1.3.1 Andamento nazionale della raccolta differenziata e della produzione dei rifiuti**

Il Rapporto Rifiuti Urbani 2024 pubblicato da ISPRA fornisce i dati aggiornati relativi all'anno 2023, evidenziando un costante miglioramento delle performance

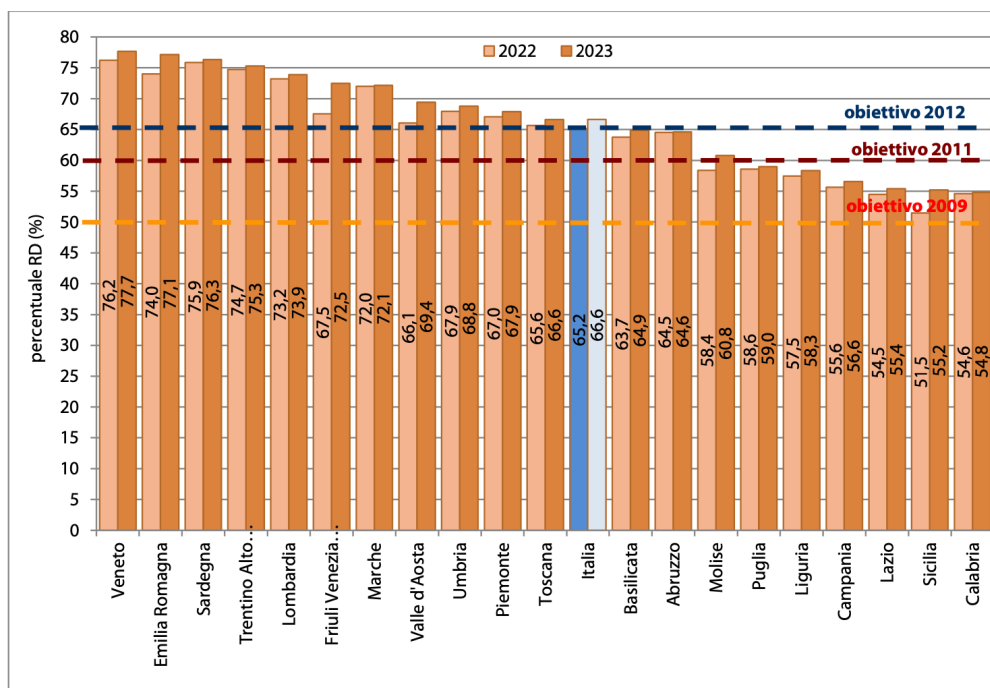
nazionali nella gestione dei rifiuti urbani. Nel 2023 la raccolta differenziata in Italia ha raggiunto il 66,6%, con una crescita di +1,4 punti percentuali rispetto al 2022 e di +5,3 punti rispetto al 2019 (Figura 1.3). Nello stesso anno, la produzione media pro capite di rifiuti urbani è stata pari a circa 496 kg per abitante. La Figura 1.3 illustra l'andamento della percentuale di raccolta differenziata per macroarea geografica nel periodo 2019–2023. Si osserva un trend positivo e costante in tutte le aree del Paese: il Nord si attesta su valori medi pari al 73,4%, il Centro raggiunge il 62,3% e il Sud, pur mantenendo un ritardo strutturale, registra un incremento fino al 58,9%. Nel complesso, il sistema nazionale mostra un miglioramento progressivo e consolidato nel tempo.



Fonte: ISPRA

**Figura 1.3:** Andamento della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani in Italia e per macroarea geografica anni 2019–2023. Fonte: Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2024 [12].

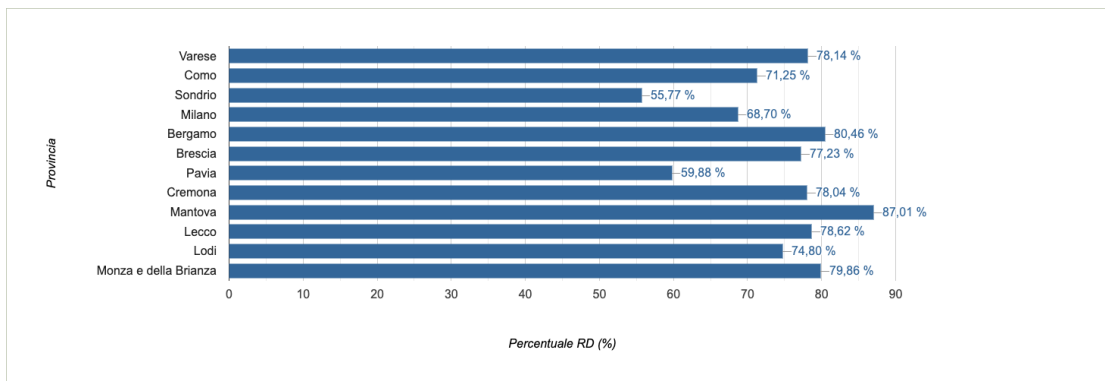
### 1.3.2 Il contesto regionale: la Lombardia e la provincia di Lecco e Bergamo



Fonte: ISPRA

**Figura 1.4:** Andamento della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani per regione anni 2022-2023. Fonte: Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2024 [12].

La regione Lombardia si conferma una delle regioni italiane con i migliori risultati nella gestione dei rifiuti urbani (Figura 1.4). Secondo i dati del Catasto Nazionale Rifiuti dell'ISPRA [12], nel 2023 la raccolta differenziata regionale ha raggiunto il 73,9%, con una produzione media di 514,2 kg per abitante. Entrambi i valori risultano superiori alle medie nazionali (66,6% e 496 kg/ab), confermando l'efficienza del modello lombardo, che coniuga innovazione tecnologica e partecipazione attiva da parte dei cittadini.

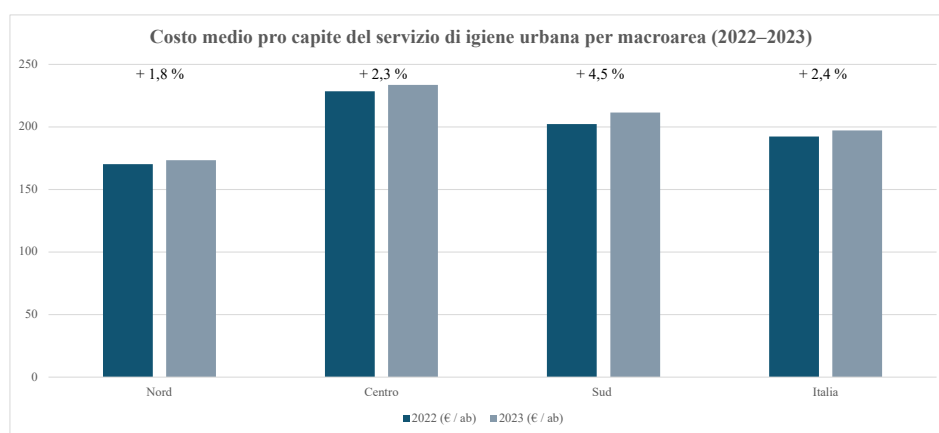


**Figura 1.5:** Percentuale di raccolta differenziata per provincia nella Regione Lombardia anno 2023. Fonte: Catasto Nazionale Rifiuti – sezione regionale Lombardia [12].

La Figura 1.5 mostra invece la percentuale di raccolta differenziata nelle province lombarde nel 2023, contesto di riferimento del caso studio analizzato in questa tesi. Il grafico evidenzia come la provincia di Bergamo, con un valore pari al 80,5%, si collochi tra le aree più virtuose, superando sia la media regionale (73,9%) sia quella delle province confinanti di Lecco (78,6%), Como (71,3%) e Sondrio (55,8%). La provincia di Mantova rappresenta il caso di eccellenza a livello regionale (87,0%), mentre Pavia e Sondrio mostrano i livelli più bassi. Nel complesso, questi risultati indicano che le province di Bergamo e Lecco rappresentano un caso di particolare interesse per l’analisi empirica, poiché presentano buone performance ambientali ma modalità di gestione differenti. Per questo motivo, entrambe le province sono incluse come contesti di riferimento per l’analisi empirica proposta in questa tesi.

### 1.3.3 Il quadro economico e i costi di gestione in Italia

Per fornire un ulteriore elemento di contesto, il Rapporto Rifiuti Urbani 2024 dell'ISPRA presenta una valutazione aggiornata dei costi di gestione del servizio di igiene urbana in Italia. Nel 2023 il costo medio nazionale è risultato pari a 197 €/abitante, con differenze significative tra le macroaree: 173 €/ab al Nord, 234 €/ab al Centro e 211 €/ab al Sud. Rispetto al 2022 si registra un incremento generalizzato dei costi, più contenuto nelle regioni settentrionali (+1,8%) e più marcato nel Mezzogiorno (+4,5%).



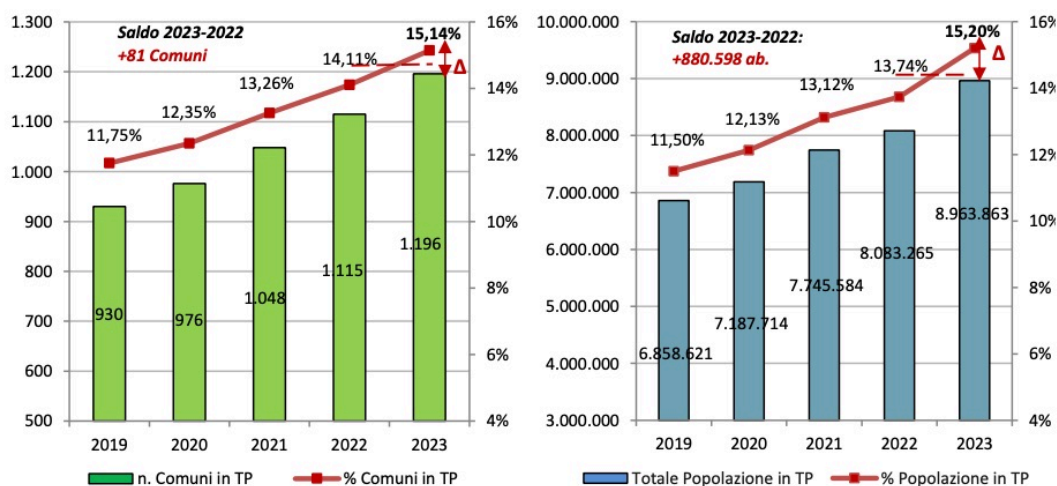
**Figura 1.6:** Costo medio pro capite del servizio di igiene urbana per macroarea geografica anni 2022–2023. Elaborazione propria su dati ISPRA, [12].

L'analisi evidenzia la persistenza di un divario territoriale nei costi di gestione, riconducibile alle differenti dotazioni infrastrutturali e all'efficienza organizzativa dei sistemi regionali. Tale quadro fornisce il contesto economico nazionale entro cui si inserisce l'analisi di dettaglio dedicata alla provincia di Lecco e Bergamo, illustrata nei capitoli successivi.

### 1.3.4 Diffusione dei sistemi di tariffazione puntuale in Italia

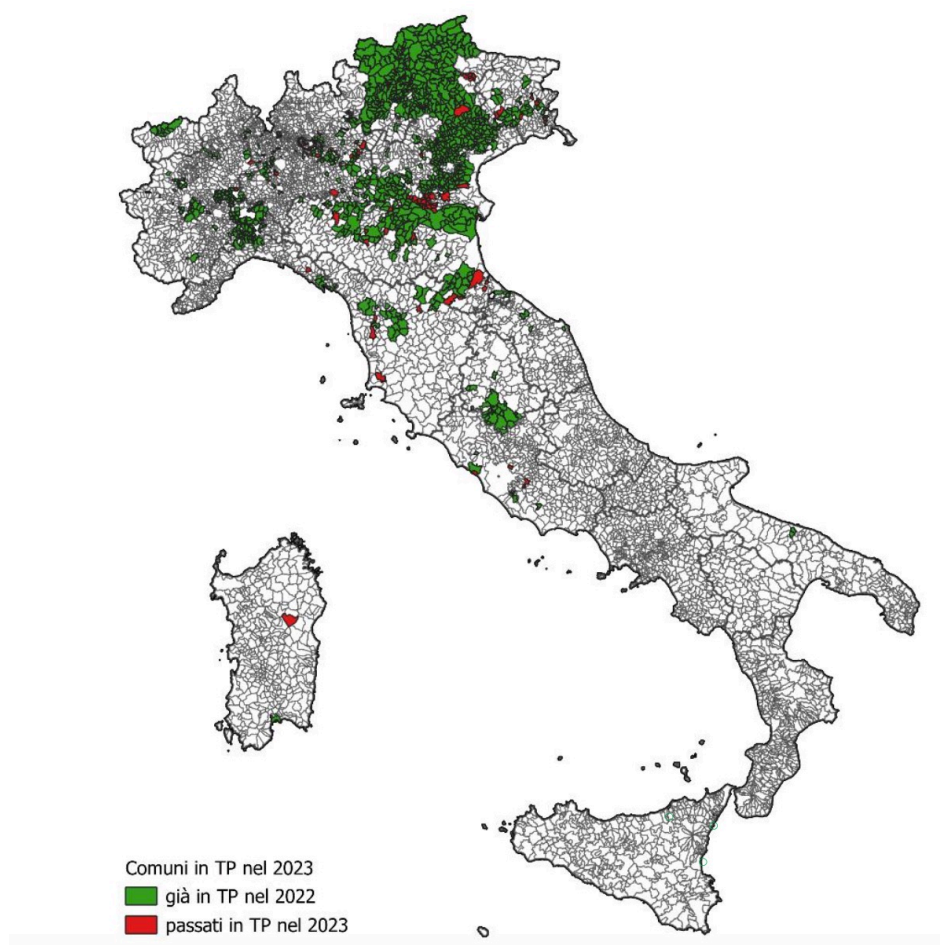
La presente sottosezione fornisce un quadro di sintesi sulla diffusione dei sistemi di tariffazione puntuale in Italia, sulla base dei dati più recenti disponibili. Secondo il IV Rapporto IFEL (dati aggiornati al 2023), i Comuni che applicano forme di

misurazione puntuale dei conferimenti sono 1.196, pari a circa il 15% del totale nazionale, per una popolazione complessiva di quasi 9 milioni di abitanti.



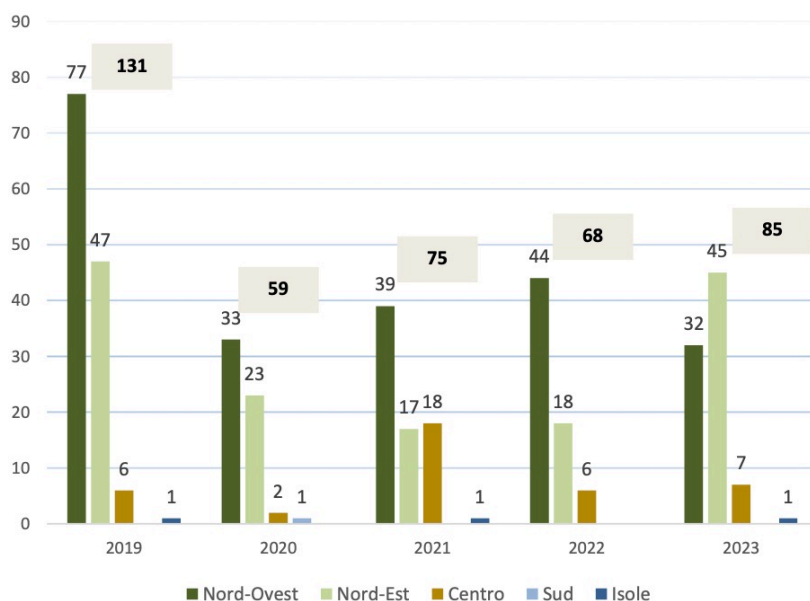
**Figura 1.7:** Comuni italiani in tariffazione puntuale e popolazione servita (valori assoluti e percentuali), anni 2019–2023. Fonte: elaborazione su dati IFEL [8].

Come evidenziato nella Figura 1.7, l'ultimo quadriennio mostra un'accelerazione significativa nella diffusione della tariffazione puntuale, con il 2023 che rappresenta l'anno di maggiore incremento sia nel numero di Comuni coinvolti sia nella popolazione servita rispetto all'anno precedente (+81 Comuni e +880.598 abitanti tra il 2022 e 2023). Un elemento particolarmente rilevante è che, nel 2023, l'incidenza della tariffazione puntuale sulla popolazione totale risulta superiore a quella sul numero di Comuni, segnalando come l'adozione del modello abbia progressivamente interessato enti di dimensioni medio-grandi. Dal punto di vista geografico, nonostante la crescita complessiva, risulta accentuata la spiccata territorialità che caratterizza la diffusione di questi sistemi in Italia.



**Figura 1.8:** Comuni italiani in tariffazione puntuale nel 2023. Fonte: elaborazione su dati IFEL [8].

La tariffazione puntuale continua infatti a espandersi in un numero limitato di aree, prevalentemente nel Nord del Paese, con una concentrazione significativa in regioni quali Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto (Figura 1.8). Come mostrato nella Figura 1.9, l'introduzione di nuovi Comuni in tariffazione puntuale risulta fortemente concentrata nelle aree settentrionali lungo tutto il periodo 2019–2023. Dopo il picco iniziale del 2019 (131 nuovi Comuni complessivi), il numero di nuove attivazioni cala nel 2020 (59) e torna a crescere nel triennio successivo (75 nel 2021, 68 nel 2022 e 85 nel 2023). Dal punto di vista della composizione territoriale, nel 2019 e nel 2020 la dinamica è trainata soprattutto dal Nord-Ovest, mentre nel 2023 emerge un contributo prevalente del Nord-Est. Il Centro presenta



Fonte: elaborazione su dati IFEL

**Figura 1.9:** Nuovi Comuni che hanno introdotto la tariffazione puntuale per area geografica anni 2019–2023. Fonte: elaborazione su dati IFEL.

incrementi più contenuti ma non trascurabili, con un'intensificazione nel 2021, mentre il Mezzogiorno resta sostanzialmente assente e le Isole mostrano attivazioni sporadiche. La crescita dell'area nel 2023 è dovuta soprattutto alla Lombardia, che registra un incremento netto di +23 Comuni e +265.235 abitanti rispetto al 2022, arrivando a 204 Comuni in TP e a quasi 1,58 milioni di abitanti serviti (poco meno del 16% della popolazione regionale). Per quanto riguarda la tipologia di tariffazione, nei territori in cui il sistema è stato introdotto, nel 2023 la tariffa corrispettiva risulta il modello prevalente: è adottata da 881 Comuni, pari al 73,7% dei Comuni in tariffazione puntuale, e coinvolge 6.789.171 abitanti, ossia il 75,7% della popolazione servita. Il restante 26,3% dei Comuni, pari a 315 enti, applica invece una TARI di natura tributaria con componente puntuale, per un totale di 2.174.692 abitanti, corrispondenti al 24,3% della popolazione in TP. Nel solo 2023 si osserva inoltre un'espansione significativa del regime corrispettivo, con un incremento di 92 Comuni e 1.156.405 abitanti, a fronte di una lieve riduzione del tributo puntuale, pari a 9 Comuni e circa 276 mila abitanti, dinamica che IFEL

riconduce anche a passaggi di regime dalla TARI puntuale alla tariffa corrispettiva. La distribuzione dei modelli tariffari rimane tuttavia fortemente eterogenea sul territorio nazionale. Nel Nord-Ovest, e in particolare in Lombardia, continua a prevalere la TARI tributo puntuale. In Lombardia, nel 2023, 122 Comuni applicano il tributo puntuale contro 82 che adottano la tariffa corrispettiva; in termini di popolazione servita, i primi coinvolgono 825.819 abitanti e i secondi 752.806, confermando la maggiore diffusione del regime tributario puntuale. Nel Nord-Est, al contrario, la tariffa corrispettiva rappresenta il modello largamente dominante: IFEL evidenzia che è adottata da quasi tutti i Comuni in TP e che la copertura in termini di popolazione supera il 90%. Nel Mezzogiorno e nelle Isole, infine, non si registrano casi di applicazione della tariffa corrispettiva e i pochi Comuni che adottano sistemi di tariffazione puntuale lo fanno mantenendo la natura tributaria del prelievo.

Tali differenze suggeriscono che la scelta del regime tariffario non dipenda soltanto da valutazioni tecniche, ma anche da fattori istituzionali e organizzativi, quali gli assetti di governance locale, il livello di integrazione della gestione e la capacità amministrativa dei territori [8].

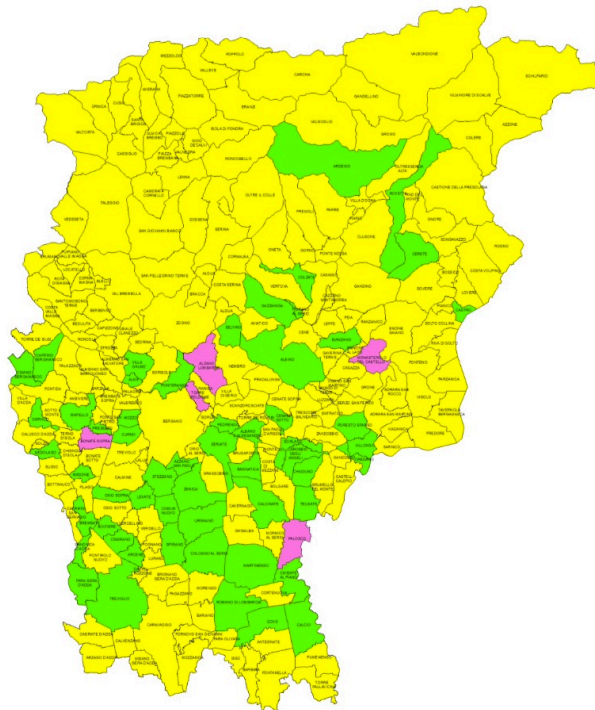
## 1.4 I casi studio delle province di Bergamo e Lecco

Nel contesto del quadro normativo e regolatorio illustrato, diversi territori italiani hanno progressivamente introdotto sistemi di misurazione e tariffazione puntuale dei rifiuti urbani, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza ambientale ed economica del servizio di igiene urbana. Tuttavia, l'adozione di tali strumenti avviene con modalità differenti, dando origine a modelli ibridi che combinano elementi di tracciamento, monitoraggio e incentivazione economica. In questa analisi vengono prese in considerazione due province lombarde, Bergamo e Lecco, che rappresentano due stadi distinti di implementazione dei sistemi *Pay-as-you-throw* (PAYT). La provincia di Bergamo costituisce il principale caso di riferimento, in quanto ha adottato un sistema di tariffazione puntuale in senso pieno, nel quale la componente variabile della tariffa è direttamente commisurata alla quantità di rifiuto residuo

effettivamente conferita dalle utenze. La provincia di Lecco, al contrario, ha introdotto un sistema avanzato di misurazione puntuale del rifiuto indifferenziato, basato sulla tracciabilità dei conferimenti, senza tuttavia completare il passaggio al sistema di tariffazione puntuale.

### 1.4.1 La provincia di Bergamo: tariffazione puntuale e integrazione di strumenti informativi

Nel territorio della provincia di Bergamo operano diversi gestori del servizio di igiene urbana, tra cui Aprica S.p.A., Servizi Comunali S.p.A. e G.Eco S.r.l., attivi in numerosi Comuni della provincia.



**Figura 1.10:** Distribuzione dei Comuni della provincia di Bergamo per tipologia di regime di prelievo dei rifiuti urbani anno 2024 [14]

Regime di prelievo	n. Comuni	Abitanti [ab]	Produzione pro-capite [kg/abxanno]	RD media [%]
TARI tributo presuntiva (art. 1, comma 651 e 652 legge 147/2013)	182	692.361	481,5*	78,32%*
TARI tributo puntuale (Art. 1, comma 651 legge 147/2013)	56	383.092	469,7	86,65%
Tariffa puntuale corrispettiva (Art. 1, comma 688 legge 147/2013)	5	39.584	414,1	84,92%
Tariffa puntuale corrispettiva corretta (Art. 1, comma 688 legge 147/2013, art. 9 DM 20/2017)	0	0		
<b>TOTALE PROVINCIALE</b>	<b>243</b>	<b>1.115.037</b>	<b>475,1*</b>	<b>81,35%*</b>

\* sono inclusi anche i rifiuti dell'aeroporto di Orio al Serio

**Figura 1.11:** Tipologie di regime di prelievo dei rifiuti urbani nella provincia di Bergamo. Fonte: Provincia di Bergamo, Osservatorio Provinciale Rifiuti (2024) [14]

Nei Comuni che hanno adottato sistemi di misurazione puntuale, le modalità operative possono variare in funzione del gestore e delle scelte organizzative locali. In numerosi casi, la misurazione del rifiuto secco residuo avviene tramite contenitori dotati di tecnologia RFID, associati univocamente alla singola utenza. I contenitori, generalmente di capacità standardizzata (ad esempio 40, 120 o 1100 litri), consentono l'identificazione del conferimento al momento dello svuotamento durante la raccolta. I mezzi adibiti al servizio sono dotati di antenne che rilevano il codice del contenitore quando questo supera una soglia predefinita in prossimità del sistema di carico, registrando l'evento di svuotamento e trasmettendo l'informazione a un software centralizzato per la gestione dei dati. La misurazione è tipicamente effettuata in termini di numero di conferimenti e volume conferito, piuttosto che di peso. In particolare, per le utenze domestiche dotate di contenitori di piccola capacità, il conteggio dei conferimenti rappresenta una metrica semplice e facilmente comunicabile. I dati raccolti sono utilizzati prevalentemente a fini tariffari, per il calcolo dei conferimenti minimi inclusi in tariffa, del costo unitario per litro di rifiuto secco residuo e delle eventuali eccedenze rispetto alle soglie stabilite. Parallelamente, tali informazioni svolgono un ruolo rilevante nel monitoraggio del servizio, consentendo di individuare tempestivamente anomalie operative, malfunzionamenti delle antenne o manomissioni dei contenitori, nonché di elaborare analisi statistiche sugli andamenti delle singole utenze, delle categorie e dei Comuni. Per quanto riguarda invece la tariffazione, il contesto provinciale si caratterizza per una marcata eterogeneità nei regimi di prelievo adottati, come evidenziato dalle Figure 1.11 e

1.10. Nel 2024, la maggior parte dei Comuni bergamaschi applica un tributo di tipo TARI in forma presuntiva (182 Comuni); tuttavia, un numero rilevante di Comuni ha introdotto sistemi di tariffazione puntuale all'interno del tributo (56 Comuni), basati sulla misurazione dei conferimenti di rifiuto indifferenziato. Un numero più limitato di Comuni ha invece completato il passaggio alla tariffa puntuale di tipo corrispettivo (5 Comuni), rappresentando un primo, seppur circoscritto, esempio di applicazione piena del modello tariffario.

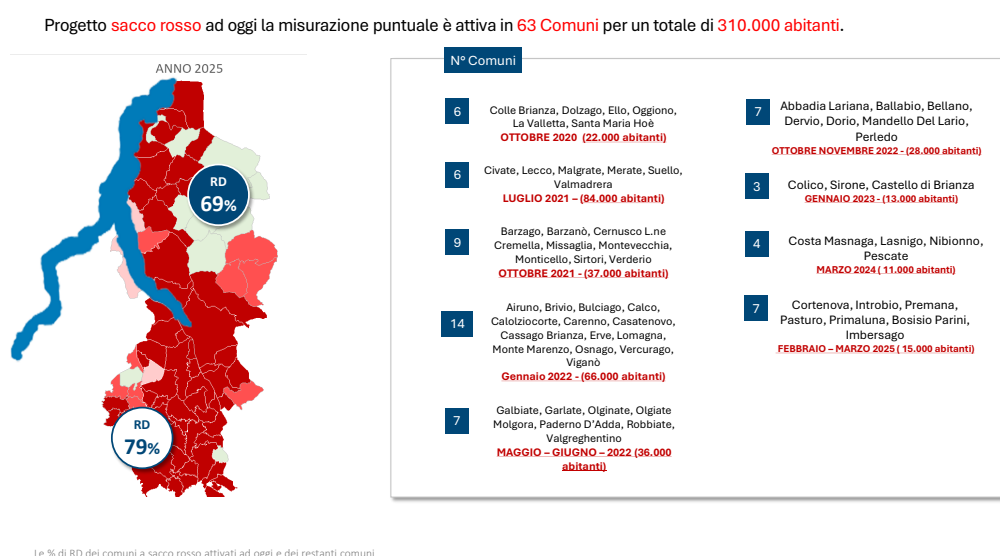
Accanto a questi strumenti di natura tariffaria, il Comune di Bergamo rappresenta un caso specifico di integrazione tra PAYT e approcci informativi e comportamentali riconducibili al modello *Know As You Throw* (KAYT), sviluppato con il supporto di ARS Ambiente. Tale esperienza si configura come un'implementazione urbana mirata e si basa sull'utilizzo sistematico dei dati di misurazione per fornire feedback personalizzati e frequenti agli utenti [15]. Nel modello KAYT, la misurazione dei conferimenti non è finalizzata esclusivamente alla determinazione della tariffa, ma viene utilizzata anche come strumento di restituzione informativa e di nudging comportamentale. Nel contesto del Comune di Bergamo, i sacchi per il rifiuto residuo vengono distribuiti tramite distributori automatici che rilasciano rotoli di sacchi personalizzati, associati alla singola utenza. Prima del ritiro, agli utenti vengono mostrati messaggi informativi personalizzati relativi ai propri comportamenti di conferimento, che includono sia informazioni sul numero di sacchi già prelevati rispetto a una soglia di riferimento, sia confronti con utenti simili (ad esempio nuclei familiari della stessa dimensione). Questo meccanismo consente di rendere gli utenti consapevoli delle proprie performance relative, stimolando una riflessione sul comportamento individuale. Le evidenze disponibili mostrano che l'introduzione di feedback informativi personalizzati contribuisce a ridurre la dispersione dei comportamenti tra le utenze e a migliorare le performance complessive del sistema di gestione dei rifiuti [15]. Nel caso del Comune di Bergamo, l'integrazione tra PAYT e KAYT è stata associata a un incremento della raccolta differenziata stimato nell'ordine di 3–5 punti percentuali, nonostante una componente PAYT economicamente limitata. Tali risultati sono attribuiti principalmente alla trasparenza del sistema, alla frequenza del feedback informativo e all'attivazione di meccanismi di norma sociale, più che al solo effetto del prezzo. Nel complesso, l'esperienza bergamasca evidenzia come la tariffazione puntuale

possa essere significativamente rafforzata dall'uso strategico dei dati di misurazione per finalità di comunicazione e nudging comportamentale. Questo assetto configura un modello di policy integrata, nel quale l'incentivo economico e quello informativo operano in modo complementare, assumendo particolare rilevanza nel confronto con territori che hanno adottato esclusivamente la misurazione puntuale senza strumenti avanzati di feedback personalizzato.

### **1.4.2 La provincia di Lecco: misurazione puntuale e tracciamento dei conferimenti**

La provincia di Lecco invece, a partire dal 2020, ha adottato solamente il modello di misurazione puntuale del rifiuto residuo. La gestione del servizio di igiene urbana è affidata a Silea S.p.A., società pubblica a capitale interamente detenuto dagli enti locali, che opera come gestore unico su quasi l'intero territorio provinciale. La Giunta comunale di Lecco ha approvato nel 2020 l'introduzione del sistema di misurazione puntuale del rifiuto indifferenziato e la successiva implementazione è avvenuta in modo graduale. I primi Comuni pilota hanno avviato la misurazione nell'ottobre 2020; nel capoluogo la distribuzione dei sacchi rossi identificativi è iniziata nell'aprile 2021 e la raccolta con tracciamento puntuale è divenuta attiva da luglio 2021. Negli anni successivi il sistema è stato esteso ad ulteriori gruppi di Comuni, fino alle attivazioni previste nel 2025. Il modello adottato prevede la distribuzione gratuita alle utenze domestiche di sacchi rossi identificativi, inizialmente dotati di tecnologia RFID e successivamente sostituiti da sistemi basati su QR code per l'associazione univoca tra sacco e utenza. È inoltre prevista, su richiesta, la fornitura di sacchi dedicati per il conferimento di pannolini e ausili sanitari assorbenti, al fine di garantire un servizio adeguato alle utenze con esigenze specifiche. Durante la raccolta, dispositivi installati sui mezzi consentono la lettura automatica del codice del sacco e la registrazione dei conferimenti effettuati, associandoli alla singola utenza [16]. La distribuzione dei materiali avviene gratuitamente presso gli ecosportelli comunali e, in diversi Comuni, tramite distributori automatici accessibili con tessera dedicata. A differenza del caso bergamasco, tuttavia, la misurazione puntuale non si traduce in una tariffazione integralmente variabile: il prelievo mantiene natura tributaria e una struttura presuntiva, articolata in una

quota fissa e in una quota parametrata alla composizione del nucleo familiare. La misurazione svolge pertanto una funzione prevalentemente di monitoraggio e di responsabilizzazione delle utenze, più che di determinazione diretta del corrispettivo. Sulla base delle informazioni ufficiali fornite da SILEA S.p.A., il sistema del “sacco rosso” con tecnologia RFID risulta attivo in 63 Comuni, per un totale di circa 310.000 abitanti, come mostrato nella Figura 1.12. Le attivazioni, avviate nell’ottobre 2020, hanno progressivamente coinvolto l’intero territorio provinciale fino al completamento delle attivazioni, programmato per febbraio e marzo 2025.



**Figura 1.12:** Piano di attivazione del “Progetto Sacco Rosso” nella provincia di Lecco. Fonte: SILEA S.p.A., 2025.

Nel 2025 sono stati inoltre posizionati i primi 17 smart bin finanziati con fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Si tratta di cestini compattatori alimentati a energia solare, dotati di sensori di riempimento che consentono il monitoraggio in tempo reale e l’ottimizzazione degli interventi di svuotamento [17].

## Capitolo 2

# Rassegna della letteratura

La letteratura economica sull'attuazione delle norme ambientali e sull'impiego di tecnologie digitali nella gestione dei rifiuti offre un quadro teorico utile per interpretare gli effetti attesi dell'introduzione della misurazione puntuale nella provincia di Lecco e della tariffazione puntuale nella provincia di Bergamo. Accanto a questi riferimenti teorici, una parte crescente della letteratura più recente ha analizzato in modo empirico l'impatto delle tecnologie digitali nei meccanismi di conformità degli standard ambientali. In particolare, gli studi sperimentali sull'automazione dei controlli e sulla tracciabilità dei comportamenti hanno offerto nuove evidenze sui benefici e sui limiti dell'uso della tecnologia come strumento di deterrenza e trasparenza.

### 2.1 Il modello della deterrenza economica

Un primo riferimento fondamentale è rappresentato dal modello di Becker (1968) sulla deterrenza economica, elaborato nel saggio *Crime and Punishment: An Economic Approach*. Secondo Becker, anche i comportamenti illeciti o non conformi possono essere analizzati applicando i principi di razionalità e massimizzazione dell'utilità propri delle decisioni economiche. L'individuo valuta razionalmente i benefici attesi derivanti dalla violazione di una norma e li confronta con i costi attesi della sanzione, che dipendono da due parametri chiave: la probabilità di rilevazione e la severità della sanzione. Se la probabilità di essere scoperti è bassa, anche una

penalità elevata può risultare inefficace, poiché il costo atteso resta contenuto; al contrario, un'alta probabilità di rilevazione riduce in modo significativo l'incentivo a violare la regola, anche in presenza di sanzioni moderate. In termini più generali, Becker mostra che il comportamento degli individui può essere descritto attraverso una *funzione di offerta dell'illecito* (offence supply function), ovvero una funzione di offerta aggregata di atti illeciti, che rappresenta il punto di partenza del modello di deterrenza economica. Tale funzione descrive la relazione tra il numero complessivo di infrazioni commesse e il "prezzo" dell'illecito, definito come il prodotto tra la probabilità di essere scoperti e la severità della sanzione. All'aumentare di questo costo atteso, la convenienza a violare la norma diminuisce, riducendo così la quantità totale di comportamenti non conformi. Nel contesto della gestione dei rifiuti urbani, questo schema interpretativo può essere applicato ai comportamenti di conferimento delle utenze: la misurazione puntuale e i sistemi di tracciamento digitale aumentano la probabilità di rilevazione dei comportamenti non conformi, mentre la tariffazione puntuale introduce un prezzo marginale per unità (o evento) di conferimento del rifiuto residuo, riducendo l'incentivo a conferire indifferenziato; tuttavia, se il controllo è debole, può aumentare l'incentivo a comportamenti elusivi, come ad esempio conferimenti impropri o abbandono.

Lo studio di Kleven et al. (2011) conferma che gli individui reagiscono più alla certezza del controllo che alla severità della sanzione. Gli autori analizzano un esperimento di verifica fiscale condotto su un ampio campione di contribuenti danesi, in cui alcuni soggetti venivano selezionati casualmente per un controllo delle dichiarazioni dei redditi. I risultati mostrano che i contribuenti sottoposti a controllo aumentano la conformità soprattutto per le componenti di reddito dichiarate direttamente dal contribuente, più difficili da verificare, mentre l'effetto risulta molto più limitato nei casi in cui i redditi sono già comunicati all'amministrazione fiscale da soggetti terzi. L'effetto è particolarmente evidente per le categorie di reddito meno facilmente controllabili, a indicare che la probabilità di essere sottoposti a verifica incide direttamente sui comportamenti individuali. In altre parole, è la percezione del rischio di essere scoperti, più che la severità della pena, a orientare le decisioni dei cittadini.

Un'altra evidenza coerente proviene da Dufflo et al.(2013), che analizzano il monitoraggio ambientale delle imprese in India. Prima dell'intervento, le ispezioni

ambientali erano affidate a funzionari locali facilmente influenzabili, con conseguente manipolazione dei dati sulle emissioni. L'introduzione di verificatori indipendenti e controlli casuali ha ridotto la manipolazione delle misurazioni e aumentato l'accuratezza dei report; in alcuni casi le imprese hanno reagito riducendo le emissioni. Il canale immediato, tuttavia, è il rafforzamento della veridicità e credibilità del monitoraggio.

Un contributo rilevante per comprendere gli effetti comportamentali dei sistemi di misurazione puntuale proviene dalla letteratura sulla salienza informativa. Il lavoro di Chetty et al. (2009) mostra che i consumatori reagiscono in modo diverso a seconda di quanto i costi siano resi visibili e facilmente riconducibile ai comportamenti degli utenti.

Gli autori analizzano il caso delle imposte sulle vendite negli Stati Uniti, spesso non incluse nei prezzi esposti a scaffale e quindi poco percepite dagli acquirenti. Attraverso un esperimento di campo in un grande supermercato, condotto con un disegno quasi-sperimentale, Chetty et al. (2009) mostrano che esponendo etichette di prezzo comprensive dell'imposta, si osserva una riduzione significativa della domanda quando la tassa viene resa saliente sullo scaffale. L'evidenza mostra che i consumatori reagiscono in modo insufficiente ai costi quando sono "nascosti", mentre rispondono pienamente quando il costo diventa saliente e immediatamente percepibile. Questo meccanismo risulta concettualmente analogo a quello dei sistemi di tracciamento dei rifiuti: rendere tracciabile e potenzialmente tariffabile ogni conferimento di rifiuto aumenta la visibilità del costo marginale associato alla produzione di rifiuti indifferenziati. La salienza del controllo agisce dunque come ulteriore leva comportamentale rispetto alla semplice deterrenza economica, aumentando l'efficacia dei sistemi di misurazione puntuale nel modificare le scelte degli utenti e nel ridurre la quantità di rifiuti residui. Nel complesso, questi studi indicano che l'efficacia della deterrenza dipende in modo cruciale dalla certezza del monitoraggio più che dalla severità delle sanzioni: aumentare la probabilità di rilevazione rafforza la conformità anche quando le penalità sono moderate Dufflo et al.(2013) e OECD (2016). A questa dimensione si affianca un canale comportamentale legato alla salienza informativa: quando costi e controlli sono resi visibili e cognitivamente accessibili, gli individui reagiscono più intensamente agli incentivi Chetty et al. (2009). Applicati alla gestione dei rifiuti urbani, questi due

meccanismi operano congiuntamente ma attraverso canali distinti: la tracciabilità digitale incrementa la probabilità di rilevazione dei conferimenti non conformi, mentre la tariffazione puntuale, e quindi la prospettiva di un costo associato ai conferimenti, rende saliente il costo marginale del rifiuto residuo, trasformando l'incentivo economico in un segnale immediatamente percepibile. Ne deriva un rafforzamento della capacità del sistema di orientare i comportamenti individuali verso obiettivi di efficienza ambientale e trasparenza, coerentemente con la logica dei modelli *Pay-As-You-Throw* (PAYT).

## 2.2 Asimmetrie informative e ruolo della digitalizzazione

Un secondo approccio teorico, che completa il quadro della deterrenza economica, è quello del modello principale-agente Laffont e Tirole (1993) e Holmström (1979). In questa prospettiva, un principale delega a un agente lo svolgimento di un compito di interesse collettivo, attribuendogli un certo grado di discrezionalità operativa. Il problema centrale risiede nell'asimmetria informativa: l'agente possiede informazioni superiori sulle proprie azioni (*hidden action*) o sulle condizioni reali del servizio (*hidden information*), creando i presupposti per comportamenti opportunistici e inefficienze allocative.

La letteratura recente, tra cui OECD (2016) e Lakhout (2025), individua nell'adozione di tecnologie digitali e sistemi *Internet of Things* (IoT) una possibile riduzione a questo disallineamento. L'integrazione di sistemi di identificazione automatica e sensoristica permette di trasformare attività tradizionalmente opache in processi osservabili e verificabili: la raccolta continua di dati granulari sui conferimenti riduce drasticamente la dipendenza da stime aggregate, attenuando il problema della *hidden action* poiché le azioni degli agenti diventano direttamente monitorabili.

Un'applicazione empirica che dimostra l'efficacia di questo meccanismo è offerta da Greenstone et al. (2020), in un'analisi sulla digitalizzazione del monitoraggio ambientale in Cina. Prima dell'automazione, i funzionari locali manipolavano i dati sull'inquinamento per evitare ripercussioni negative sulla propria carriera;

l'introduzione di sensori digitali con trasmissione automatica dei dati al governo centrale ha eliminato la discrezionalità umana, facendo emergere un aumento medio del 35% nelle rilevazioni di PM10. Questo studio evidenzia come l'automazione non sia solo un aggiornamento tecnico, ma uno strumento per forzare la trasparenza e ridurre le asimmetrie informative tra controllore e controllato.

Nel contesto specifico dei rifiuti urbani, come evidenziato dalle revisioni di Zyoud e Zyoud (2024), la tracciabilità digitale replica questi benefici: la disponibilità di dati in tempo reale riduce lo spazio per manipolazioni informative sia da parte dei gestori che degli utenti, aumentando la fiducia nel sistema. La riduzione delle asimmetrie informative ottenuta attraverso la tecnologia costituisce dunque una condizione abilitante per l'efficacia dei sistemi di misurazione puntuale, fornendo il fondamento informativo necessario per legittimare la tariffazione e rafforzare la credibilità delle politiche ambientali.

## **2.3 I sistemi di tariffazione puntuale e i rischi comportamentali**

Un terzo filone teorico utile per interpretare il caso di Bergamo riguarda i sistemi di tariffazione puntuale, che possono essere letti come forme di pricing basato sull'informazione. In questo approccio i cittadini non pagano più sulla base di criteri presuntivi, ma in proporzione alla quantità di rifiuto indifferenziato effettivamente conferita. In termini economici, ciò equivale a introdurre un prezzo marginale positivo per ogni unità di rifiuto residuo, rendendo esplicito il costo ambientale individuale del conferimento. Oltre a introdurre un incentivo economico, tale prezzo marginale svolge anche una funzione segnaletica, rendendo immediatamente percepibile il legame tra comportamento individuale e costo sostenuto.

La letteratura empirica conferma che l'adozione di sistemi di tracciamento modifica in modo significativo i comportamenti delle famiglie. Fullerton e Kinnaman (1996), in uno studio condotto negli Stati Uniti in un contesto di tariffazione "a sacco", mostrano una forte riduzione del rifiuto raccolto al curbside (nell'ordine del 30–40% in volume, con effetti più contenuti in peso) e un aumento del riciclo. In una prospettiva più ampia, i sistemi PAYT spostano i costi della gestione dei

rifiuti da contribuenti e amministrazioni verso produttori e consumatori, fungendo da meccanismo di internalizzazione delle esternalità ambientali capace di orientare le decisioni verso una maggiore sostenibilità.

Tuttavia, l'efficacia di questi strumenti presenta delle criticità, in particolare legate al rischio di comportamenti opportunistici. Diversi studi, tra cui quelli di Dijkgraaf e Gradus (2019) e Fullerton e Kinnaman (1996), evidenziano che l'introduzione di un prezzo marginale può incentivare lo smaltimento illegale o l'abbandono improprio al fine di ridurre la spesa, se non accompagnata da controlli efficaci. Gli autori stimano infatti che una parte consistente della riduzione osservata possa essere attribuibile a pratiche di smaltimento informale, piuttosto che a comportamenti virtuosi di prevenzione o riciclo.

Questa evidenza suggerisce che l'introduzione di sistemi tariffari proporzionali necessiti di adeguati meccanismi di tracciabilità digitale per evitare effetti distorsivi che ne riducano l'efficacia ambientale complessiva. Pur non essendo oggetto di verifica diretta nell'analisi empirica della presente tesi, il rischio di smaltimento illecito rappresenta un elemento concettualmente rilevante da tenere in considerazione nell'interpretazione dei risultati. Le evidenze discusse convergono dunque nel mostrare come la digitalizzazione e la tariffazione puntuale, se ben disegnate, possano modificare i comportamenti degli utenti e migliorare la trasparenza informativa. Alla luce di tali risultati, la presente analisi empirica intende verificare se effetti analoghi si osservino nel contesto italiano, con particolare riferimento all'esperienza di Lecco e di Bergamo.

## **2.4 Determinanti istituzionali e fattori politici nell'adozione dei sistemi PAYT**

In conclusione, un ulteriore contributo utile per comprendere le condizioni di successo dei sistemi di tariffazione puntuale proviene dallo studio di Gradus e Dijkgraaf (2023), che analizza l'adozione e l'evoluzione dei sistemi di tariffazione basati sull'unità di misura (*unit-based pricing systems*, UBP) nei Paesi Bassi tra fine anni '90 e anni 2010. Gli autori si concentrano sulle motivazioni economiche, sociali e politiche che spingono le amministrazioni locali a introdurre forme di

tariffazione orientate alla riduzione dei rifiuti, mostrando come la scelta dipenda non solo da obiettivi ambientali, ma anche da variabili istituzionali.

I risultati indicano che i comuni con redditi medi più bassi e con una minore frammentazione politica nei consigli comunali sono più propensi ad adottare forme di tariffazione come quelle basate sul peso o sul sacchetto, che garantiscono una riduzione più consistente dei rifiuti indifferenziati. Al contrario, contesti caratterizzati da maggiore frammentazione politica tendono a preferire modelli meno ambiziosi, come quelli basati sulla frequenza di raccolta o sul volume dei contenitori, al fine di ridurre i costi amministrativi e i potenziali conflitti decisionali. Questo suggerisce che la capacità decisionale e amministrativa rappresenti un fattore determinante dell'efficacia ambientale dei sistemi PAYT.

Lo studio evidenzia inoltre che, nonostante i sistemi a peso e a sacchetto siano più efficaci nel ridurre la quantità di rifiuti, molte amministrazioni locali optano per soluzioni intermedie, poiché più semplici da gestire e più facilmente accettabili dai cittadini. Questa scelta riflette la tensione tipica delle politiche ambientali locali tra efficienza economica, sostenibilità operativa e consenso politico. Infine, gli autori segnalano che in alcuni casi la complessità gestionale o episodi di abbandono illecito dei rifiuti hanno portato alcune amministrazioni a tornare a sistemi a tariffa fissa, confermando che la sostenibilità dei modelli PAYT dipende tanto dal disegno tecnico quanto dal contesto politico-istituzionale in cui vengono implementati.

Nel quadro della presente tesi, tali evidenze assumono particolare rilevanza: l'esperienza delle province di Lecco e Bergamo può infatti essere interpretata anche alla luce di questi risultati, come un caso in cui la governance locale e la capacità amministrativa rivestono un ruolo centrale nel determinare l'efficacia dei sistemi di tracciamento dei rifiuti.

## **2.5 Obiettivi empirici e domande di ricerca**

L'obiettivo complessivo dell'analisi empirica è valutare gli effetti dell'introduzione di sistemi di misurazione puntuale e di tariffazione puntuale del rifiuto secco residuo sulle performance ambientali ed economiche del servizio di gestione dei rifiuti urbani nei comuni delle province di Bergamo e Lecco. L'analisi mira a distinguere l'impatto della sola misurazione puntuale da quello aggiuntivo della tariffazione

puntuale, confrontando i comuni che hanno adottato tali strumenti con un gruppo di controllo costituito dai comuni limitrofi che non ne hanno ancora implementato l'utilizzo nel periodo considerato.

L'attenzione è rivolta principalmente agli effetti osservabili e quantificabili in termini di produzione e composizione dei rifiuti urbani, nonché alle variazioni nella struttura dei costi del servizio, al fine di comprendere se e in che misura l'adozione di strumenti di misurazione e tariffazione puntuale sia associata a miglioramenti in termini di efficienza ambientale ed economica.

Alla luce di tali obiettivi, il lavoro si propone di rispondere alle seguenti domande di ricerca:

1. In che misura l'introduzione della sola misurazione puntuale del rifiuto secco residuo incide sulla produzione e sulla composizione dei rifiuti urbani, con particolare riferimento alla raccolta differenziata e al rifiuto indifferenziato, sia in termini aggregati sia pro capite?
2. L'adozione della misurazione puntuale è associata a variazioni significative dei costi del servizio di gestione dei rifiuti urbani e alla ricomposizione delle principali voci di costo operativo?
3. Qual è l'effetto aggiuntivo della tariffazione puntuale rispetto alla sola misurazione, in termini di performance ambientali ed economiche?
4. In che misura i due strumenti, misurazione puntuale e tariffazione puntuale, possono essere considerati complementari nel migliorare l'efficienza e l'organizzazione del servizio di gestione dei rifiuti urbani?

## Capitolo 3

# Dati e metodologia

### 3.1 Fonti dei dati

La principale fonte informativa utilizzata per l'analisi è rappresentata dal Catasto Rifiuti dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che costituisce la fonte ufficiale di riferimento a livello nazionale per il monitoraggio della gestione dei rifiuti urbani.

Dal portale ISPRA sono stati estratti, per il periodo 2016–2023, i seguenti dati:

- Rifiuti urbani totali (RU), espressi in tonnellate;
- Raccolta differenziata (RD), espressa anch'essa in tonnellate;
- Costi del servizio di igiene urbana (euro/ab · anno), articolati nelle principali componenti: raccolta, trasporto, trattamento, smaltimento, spazzamento e costi comuni di gestione.

La scelta di utilizzare esclusivamente questa fonte garantisce coerenza metodologica tra variabili fisiche ed economiche e consente confronti diretti tra comuni e anni, riducendo il rischio di eterogeneità dovuta a criteri contabili o definizioni differenti.

Per la dimensione economico-finanziaria, la fonte primaria è rappresentata dal Sistema Informativo sulle Operazioni degli Enti Pubblici (SIOPE), che rileva in modo standardizzato tutte le entrate e le spese degli enti locali italiani. Sono stati raccolti i dati relativi al periodo 2016–2023, in modo da mantenere la coerenza temporale con le informazioni ambientali ISPRA. In particolare, sono state selezionate

le entrate relative alla TARI (tributo comunale sui rifiuti):

- Codici 1201, 1202, 1203 e 1204 per l'anno 2016.
- Codici gestionali 1.01.01.61.001, 1.01.01.61.002, 1.01.01.51.001, 1.01.01.51.002 dal 2017 in poi;

Questi valori rappresentano le somme effettivamente riscosse dai Comuni a titolo di TARI, destinate al finanziamento del servizio di gestione dei rifiuti urbani. Le estrazioni sono state effettuate per tutti i Comuni delle province di Bergamo, Como, Lecco e Sondrio, ricostruendo una serie storica coerente con i dati ambientali ISPRA. Tali informazioni consentono di confrontare nel tempo l'evoluzione dei ricavi TARI con i costi sostenuti e i risultati ambientali, fornendo una base empirica per l'analisi dell'efficienza economica del sistema. In aggiunta alle fonti ufficiali ISPRA e SIOPE, le informazioni relative alle date di introduzione della misurazione puntuale nei singoli Comuni della provincia di Lecco sono state integrate nel dataset sulla base del prospetto ufficiale fornito da SILEA S.p.A.[30]. Tale documento riporta il piano di attivazione del sistema "sacco rosso" e la progressiva estensione della misurazione puntuale nel periodo 2020–2025. Analogamente, per la provincia di Bergamo, le date di attivazione dei sistemi di misurazione puntuale e di tariffazione puntuale sono state ricostruite attraverso informazioni fornite rispettivamente dai comuni e dai gestori del servizio di igiene urbana operanti sul territorio.

A partire dal 2020, ISPRA ha modificato la classificazione delle voci di costo del servizio di igiene urbana, accorpando alcune componenti e rinominandone altre. Per garantire la comparabilità temporale, le colonne dei costi prima del 2020 sono state rinominate in modo coerente con la nuova codifica e le voci non più presenti dopo il 2020, sono state escluse. Per completare il dataset, sono stati inclusi anche i dati sulla popolazione residente e densità di popolazione, anch'essi provenienti dal Catasto Rifiuti ISPRA. La popolazione, disponibile per ciascun comune e anno, è utilizzata per costruire gli indicatori pro capite (ad esempio, kg/abitante · anno per i rifiuti totali, differenziati e indifferenziati) e per rendere comparabili nel tempo e tra territori i principali indicatori di performance ambientale ed economica. In un primo momento è stata considerata anche la possibilità di integrare le informazioni sulle entrate con i dati relativi alle aliquote e alle delibere TARI pubblicate dal Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF), nell'ambito della sezione Fiscalità regionale e locale. Tuttavia, tali dati risultano consultabili solo anno per anno e a livello

comunale, senza possibilità di estrazione cumulativa o in formato elaborabile, e si riferiscono principalmente alle delibere e ai regolamenti approvati dai Comuni, senza riportare i valori numerici delle aliquote TARI. Per questo motivo, l'analisi delle entrate è stata condotta esclusivamente utilizzando i dati SIOPE, che rappresentano l'unica fonte omogenea e completa disponibile a livello comunale.

## **3.2 Costruzione del dataset**

L'analisi empirica si basa su un dataset panel a livello comunale, costruito per il periodo 2016–2023. L'unità di osservazione è il Comune, identificato tramite codice ISTAT, con informazioni annuali sulle performance ambientali di gestione dei rifiuti, sui costi del servizio e sulle entrate TARI.

### **3.2.1 Fasi di costruzione del dataset integrato**

1. Preparazione e pulizia dei dati ISPRA: Per ciascuna provincia, i dataset sono stati verificati in termini di coerenza anagrafica (codici ISTAT), unità di misura e completezza. Sono stati esclusi eventuali comuni privi di osservazioni per uno o più anni e uniformate le intestazioni delle variabili tra i file provinciali. Tutte le variabili quantitative sono state controllate per coerenza di unità di misura (tonnellate, kg/ab · anno, euro/ab · anno) e uniformate. Tutti i costi sono espressi in euro per abitante e per anno (euro/ab · anno), coerentemente con la classificazione ISPRA.
2. Calcolo delle variabili derivate: Gli indicatori di performance ambientale utilizzati nell'analisi empirica derivano direttamente dai dati ISPRA; oltre a questi, sono stati calcolati due ulteriori indicatori chiave, riportati nella Tabella 3.1.

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
<code>indiff_ton</code>	Tonnellate di rifiuto indifferenziato	tonnellate
<code>indiff_kg_pc</code>	Rifiuto indifferenziato pro capite	kg/ab · anno

**Tabella 3.1:** Variabili derivate.

Il primo indica la produzione totale di rifiuto indifferenziato (t), che misura la quantità complessiva di rifiuti residui avviati a smaltimento finale nell'area considerata. L'indicatore è calcolato come differenza tra i rifiuti urbani totali prodotti e la quantità di rifiuti avviati a raccolta differenziata. Il secondo indicatore è il rifiuto indifferenziato pro capite (kg/ab · anno), che misura la quantità media di rifiuti residui prodotti da ciascun abitante. Si ottiene come differenza tra i rifiuti urbani totali e la raccolta differenziata, rapportata alla popolazione residente.

3. Preparazione dei dati SIOPE sulle entrate TARI: I valori di entrata sono stati estratti e riclassificati per provincia e anno, utilizzando il codice identificativo dell'ente (`codice_ente`) fornito da SIOPE e uniformando le denominazioni comunali per consentire il successivo collegamento con i dati ISPRA. È stato quindi creato un database unificato delle entrate comunali da TARI per il periodo 2016–2023.
4. Unione dei dataset: I file provinciali ISPRA e il database delle entrate TARI sono stati integrati in un unico dataset panel mediante chiave (`cod_istat`, `anno`). Ogni osservazione comunale contiene informazioni su:
  - popolazione residente;
  - quantità e composizione dei rifiuti;
  - costi di gestione del servizio;
  - entrate TARI effettive.

A questo punto sono state integrate le date di avvio della misurazione e tariffazione puntuale, fornite dai rispettivi gestori o direttamente dall'amministrazione comunale. La Tabella 3.2 riporta l'elenco completo delle variabili contenute nel dataset integrato, con la relativa descrizione, unità di misura e fonte.

<b>Nome variabile</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Fonte</b>
comune	Nome del comune	–	ISPRA
istat_code	Codice ISTAT del comune	–	ISTAT
popolazione	Popolazione residente	abitanti	ISPRA
rd_ton	Raccolta differenziata (quantità totale)	tonnellate	ISPRA
ru_ton	Rifiuti urbani totali	tonnellate	ISPRA
rd_%	Percentuale di raccolta differenziata	%	Calcolo proprio
rd_kg_pc	Raccolta differenziata pro capite	kg/ab · anno	ISPRA
ru_kg_pc	Rifiuti urbani totali pro capite	kg/ab · anno	ISPRA
crt_indiff_euro_ab	Costi raccolta e trasporto rifiuti indifferenziati	€/ab · anno	ISPRA
crd_diff_euro_ab	Costi raccolta e trasporto rifiuti differenziati	€/ab · anno	ISPRA
c_spazzamento_euro_ab	Costi di spazzamento e lavaggio strade	€/ab · anno	ISPRA
ck_capitale_euro_ab	Costi di remunerazione del capitale	€/ab · anno	ISPRA
c_altri_euro_ab	Altri costi di gestione	€/ab · anno	ISPRA
entrate_tari_euro	Entrate totali TARI del comune	euro	SIOPE
entrate_tari_pc_euro	Entrate TARI pro capite	€/ab · anno	SIOPE
Avvio_misurazione	Data di introduzione della misurazione puntuale	mese–anno	Gestore
Avvio_tarip	Data di introduzione della tariffazione puntuale	mese–anno	Gestore

**Tabella 3.2:** Legenda delle variabili del dataset integrato.

Un limite rilevante riguarda la presenza di dati aggregati nelle diverse province, dove ISPRA riporta in alcuni casi i costi a livello di consorzio o gestione associata. In tali casi, i dati non sono disponibili a livello comunale e non sono stati redistribuiti ai singoli enti, ma mantenuti come valori mancanti (`null`). Un'ulteriore criticità è stata riscontrata nei dati SIOPE relativi alle entrate TARI: non tutti i Comuni della provincia risultano avere un importo registrato. Di conseguenza, per alcuni enti il valore delle entrate TARI è stato trattato come mancante (`null`), al fine di garantire la coerenza metodologica dell'analisi.

In sintesi, il dataset finale copre un periodo di osservazione di otto anni (2016–2023) e comprende i Comuni delle province di Bergamo, Como, Lecco e Sondrio. Tutte le trasformazioni e le operazioni di integrazione sono state tracciate e descritte in modo dettagliato, così da garantire la trasparenza e la replicabilità del processo di costruzione del dataset.

### **3.3 Analisi descrittiva preliminare**

Prima di procedere all'analisi econometrica, è stata svolta un'analisi descrittiva dei dati con l'obiettivo di osservare l'evoluzione temporale delle principali variabili di interesse a livello provinciale. Poiché le province di Bergamo e Lecco rappresentano i territori interessati dall'introduzione della misurazione puntuale e della tariffazione puntuale dei rifiuti, è plausibile che alcuni effetti del nuovo sistema risultino già parzialmente osservabili a livello aggregato, prima della stima formale degli effetti causali; a tal fine, sono stati utilizzati i dati del Catasto Rifiuti ISPRA nella loro forma aggregata a livello provinciale. L'analisi descrittiva consente quindi di delineare i principali trend delle performance ambientali e dei costi di gestione nel periodo 2016–2023, fornendo una prima evidenza preliminare e orientativa dell'evoluzione dei territori analizzati. I risultati presentati costituiscono un supporto interpretativo alla successiva analisi econometrica.

#### **3.3.1 Andamento della raccolta differenziata**

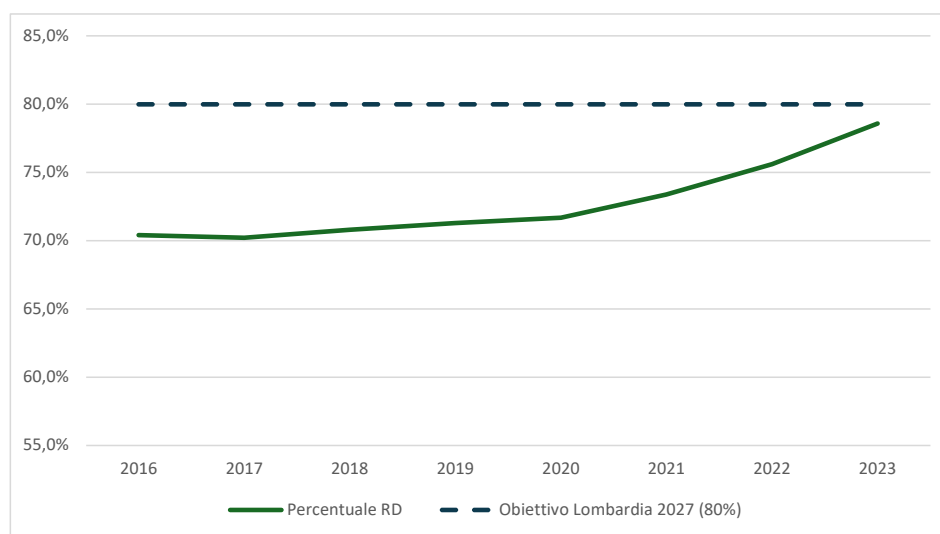
La prima variabile considerata riguarda la percentuale di raccolta differenziata, indicatore chiave per valutare l'efficienza del sistema di gestione dei rifiuti. La

Tabella 3.3 riporta, per ciascun anno preso in analisi, la percentuale di raccolta differenziata a livello provinciale.

**Tabella 3.3:** Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Lecco (2016–2023).

Anno	Percentuale RD (%)	$\Delta$ (Punti Percentuali)
2016	70.4	–
2017	70.2	-0.2
2018	70.8	+0.6
2019	71.3	+0.5
2020	71.7	+0.4
2021	73.4	+1.7
2022	75.6	+2.2
2023	78.6	+3.0

Nel periodo considerato, i valori provinciali rimangono sostanzialmente stabili tra il 2016 e il 2018, per poi avviare una crescita progressiva a partire dal 2018. L'aumento risulta particolarmente marcato negli ultimi anni del periodo analizzato e conduce a un incremento complessivo di oltre sette punti percentuali, dal 71,3% nel 2019 al 78,6% nel 2023. La Figura 3.1 mostra l'andamento della raccolta differenziata nella provincia di Lecco, evidenziando un miglioramento progressivo lungo tutto il periodo tra il 2016 e il 2023.



**Figura 3.1:** Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Lecco (2016–2023).

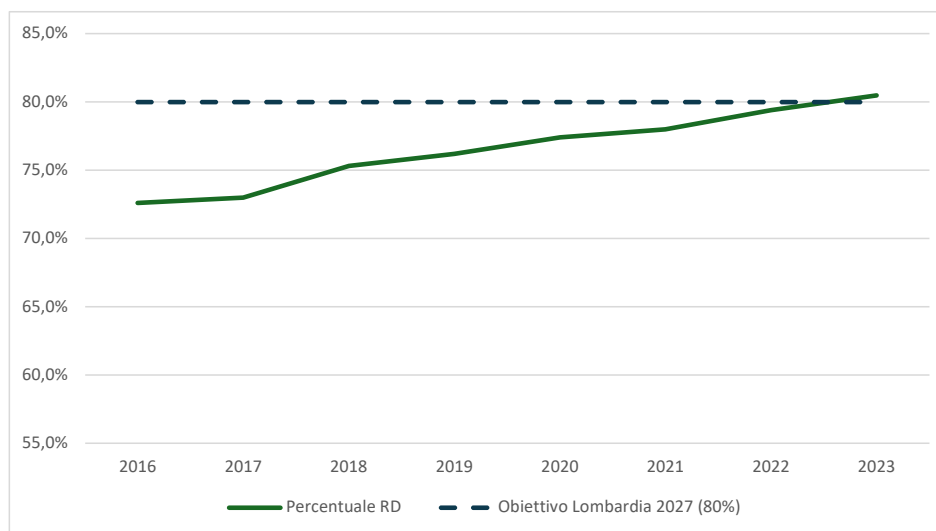
In generale, a partire dal 2017 si osserva una crescita graduale della percentuale di raccolta differenziata, che diventa sensibilmente più marcata dal 2020, anno che coincide con l'introduzione del sistema del sacco rosso dotato di identificazione RFID in una parte dei comuni della provincia. In aggiunta, la performance provinciale si colloca su un percorso di avvicinamento allo scenario di piano regionale, non vincolante, dell'80 % previsto per il 2027 dal Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti [31]. Nel complesso, i risultati suggeriscono che l'introduzione del sistema di tracciamento del rifiuto indifferenziato abbia contribuito a rafforzare il trend di crescita della raccolta differenziata, anticipando quanto verrà esaminato nella successiva analisi econometrica. Nel caso della provincia di Lecco, l'accelerazione osservata dopo il 2021 risulta più marcata rispetto al trend preesistente.

In questa sezione viene presentato l'andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Bergamo. La Tabella 3.4 riporta, per ciascun anno del periodo 2016–2023, il livello di raccolta differenziata a livello provinciale.

**Tabella 3.4:** Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Bergamo (2016–2023).

Anno	Percentuale RD (%)	$\Delta$ (Punti Percentuali)
2016	72.6	–
2017	74.0	+1.4
2018	75.3	+1.3
2019	76.2	+0.9
2020	77.4	+1.2
2021	78.0	+0.6
2022	79.4	+1.4
2023	80.5	+1.1

La Figura 3.2 mostra invece l’andamento della raccolta differenziata nella provincia di Bergamo nel periodo 2016–2023, includendo il confronto con il target regionale dell’80% previsto per il 2027.



**Figura 3.2:** Andamento della percentuale di raccolta differenziata nella provincia di Bergamo (2016–2023).

Nel periodo considerato, la provincia di Bergamo evidenzia un andamento chiaramente crescente della percentuale di raccolta differenziata, che passa dal 72,6% nel 2016 all’80,5% nel 2023, raggiungendo e superando già nell’ultimo anno

l'obiettivo regionale fissato per il 2027. La crescita risulta complessivamente regolare e sostenuta lungo tutto l'arco temporale analizzato. Rispetto alla provincia di Lecco, Bergamo parte da livelli iniziali più elevati e presenta un'evoluzione più omogenea nel tempo. Tale dinamica è coerente con il fatto che nella provincia di Bergamo il sistema di misurazione puntuale del rifiuto era già attivo dal 2016, favorendo un percorso di miglioramento più graduale e continuo.

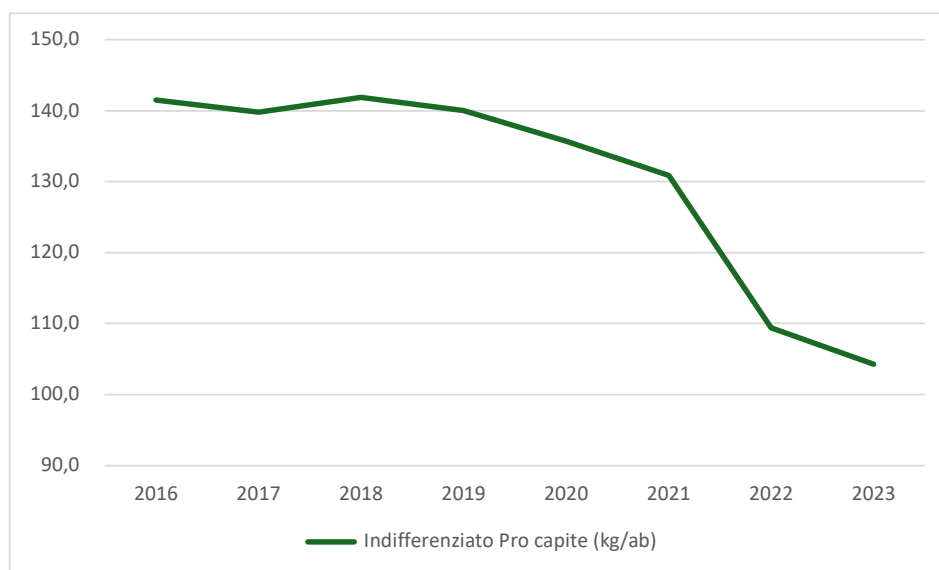
### 3.3.2 Rifiuti indifferenziati pro capite

L'analisi della produzione di rifiuti indifferenziati pro capite consente di verificare se l'aumento della raccolta differenziata corrisponde a una riduzione effettiva del rifiuto residuo. Per rifiuti indifferenziati si intende il rifiuto urbano residuo avviato a trattamento o smaltimento, al netto delle frazioni intercettate in modo differenziato. La Tabella 3.5 riporta i valori della produzione di rifiuti indifferenziati nella provincia di Lecco nel periodo 2016–2023.

**Tabella 3.5:** Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite (kg/abitante) nella provincia di Lecco (2016–2023).

Anno	Indifferenziato pro capite (kg/ab)	$\Delta$ (kg a/a)
2016	141.5	–
2017	139.8	-1.7
2018	141.9	+2.1
2019	140	-1.9
2020	135.7	-4.3
2021	130.9	-4.8
2022	109.4	-21.5
2023	104.3	-5.1

La Figura 3.3 mostra un andamento complessivamente decrescente dei rifiuti urbani indifferenziati pro capite nella provincia di Lecco nel periodo 2016–2023. Nel complesso, il quantitativo di rifiuto residuo passa da circa 142 kg per abitante nel 2016 a poco più di 104 kg nel 2023, registrando una riduzione pari a circa 37 kg per abitante sull'intero periodo considerato.



**Figura 3.3:** Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite nella provincia di Lecco (2016–2023).

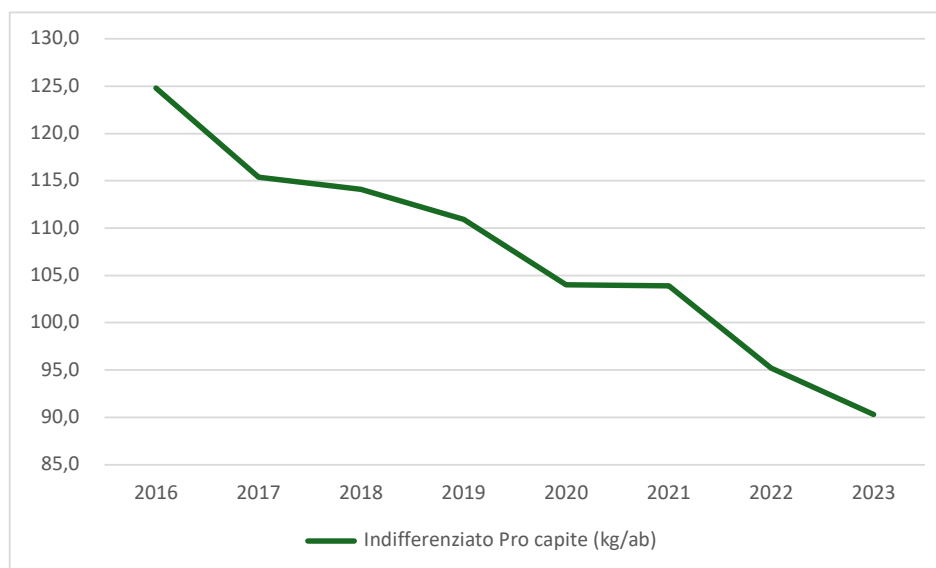
L'andamento del rifiuto indifferenziato risulta inverso rispetto a quello della raccolta differenziata, confermando la coerenza tra i due indicatori di performance ambientale. Dopo una fase iniziale di sostanziale stabilità, il calo della produzione di rifiuti indifferenziati diventa più marcato a partire dal 2019, per poi accentuarsi ulteriormente negli anni successivi. Tale dinamica si inserisce in un più ampio processo di riorganizzazione del servizio di gestione dei rifiuti avviato a livello provinciale. Questa trasformazione organizzativa ha contribuito a migliorare la qualità della differenziazione e a ridurre la quantità di rifiuto residuo conferito, come riflesso nella diminuzione dei valori pro capite osservata nel periodo successivo [32, 33, 34]. Nel complesso, l'evidenza descrittiva suggerisce che gli interventi organizzativi adottati e l'introduzione del tracciamento del rifiuto indifferenziato abbiano rafforzato il percorso di riduzione del rifiuto indifferenziato.

Analizziamo ora i valori di rifiuti indifferenziati pro capite nella provincia di Bergamo. La Tabella 3.6 riporta i valori a livello provinciale del rifiuto indifferenziato, per ciascun anno del periodo 2016–2023.

**Tabella 3.6:** Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite (kg/abitante) nella provincia di Bergamo (2016–2023).

Anno	Indifferenziato pro capite (kg/ab)	$\Delta$ (kg a/a)
2016	124.8	–
2017	115.4	-9.4
2018	114.1	-1.3
2019	110.9	-3.2
2020	104	-6.9
2021	103.9	-0.1
2022	95.2	-8.7
2023	90.3	-4.9

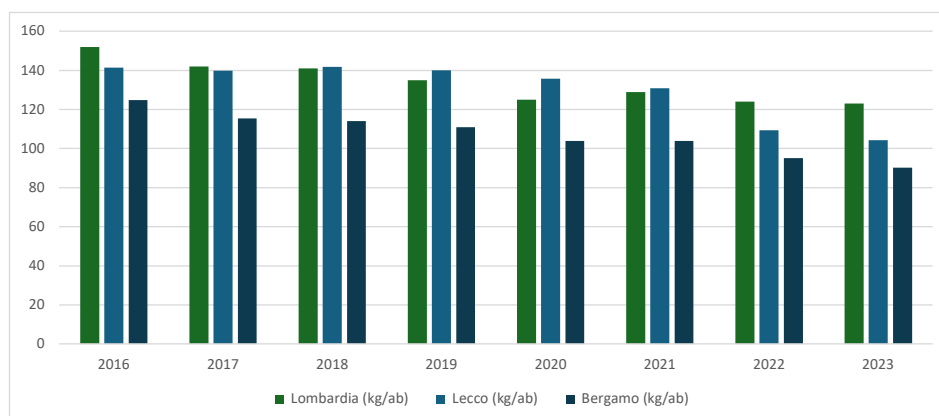
Nel periodo considerato, la produzione di rifiuti urbani indifferenziati pro capite nella provincia di Bergamo mostra un andamento marcatamente decrescente. In particolare, il quantitativo di rifiuto residuo passa da circa 125 kg per abitante nel 2016 a poco più di 90 kg nel 2023, con una riduzione complessiva pari a circa 35 kg per abitante sull'intero arco temporale analizzato.



**Figura 3.4:** Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite nella provincia di Bergamo (2016–2023).

Rispetto alla provincia di Lecco, Bergamo presenta livelli iniziali più contenuti di rifiuto indifferenziato pro capite e un'evoluzione più regolare nel tempo, caratterizzata da una diminuzione pressoché continua lungo l'intero periodo considerato. Tale andamento risulta coerente con un sistema di gestione dei rifiuti già orientato verso un'elevata intercettazione delle frazioni differenziabili.

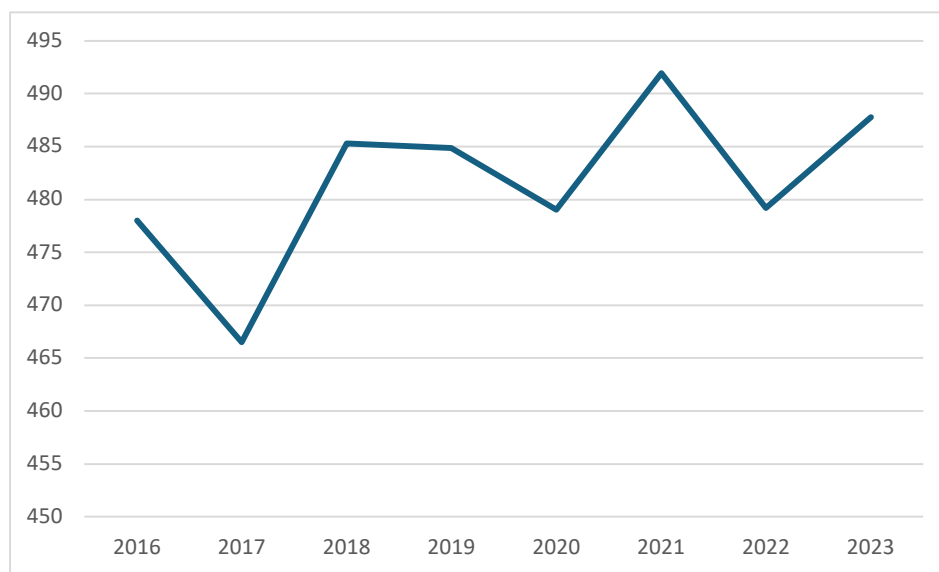
Il confronto tra i dati provinciali e il contesto regionale evidenzia differenze sistematiche nel livello di produzione di rifiuti urbani indifferenziati pro capite. Per l'intero periodo considerato, la provincia di Bergamo presenta valori costantemente inferiori rispetto ai valori regionali lombardi, mentre la provincia di Lecco si colloca su livelli generalmente prossimi a quelli regionali, seppur leggermente inferiori nella maggior parte degli anni. La Figura 3.5 mostra il confronto tra l'andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite nelle province di Lecco e Bergamo e il corrispondente valore regionale lombardo nel periodo 2016–2023. Dalla rappresentazione grafica emerge come entrambe le province seguano una traiettoria di riduzione coerente con il trend regionale, pur mantenendo livelli differenti nel tempo. Nel complesso, l'evidenza descrittiva suggerisce che la riduzione del rifiuto residuo non costituisca un fenomeno isolato, ma si inserisca in una dinamica di miglioramento più ampia a livello regionale. All'interno di questo quadro comune, le differenze osservate tra le province appaiono riconducibili alle diverse specificità organizzative e temporali dei sistemi locali di gestione dei rifiuti.



**Figura 3.5:** Andamento dei rifiuti indifferenziati pro capite: confronto Bergamo–Lecco–Lombardia (2016–2023).

### 3.3.3 Produzione totale di rifiuti pro capite

L'analisi della produzione complessiva di rifiuti urbani pro capite consente di valutare se la riduzione del rifiuto indifferenziato sia accompagnata da una contrazione della quantità totale di rifiuti prodotti o, al contrario, da un semplice spostamento dei flussi verso le frazioni differenziate. La Figura 3.6 mostra l'andamento della produzione totale di rifiuti pro capite nella provincia di Lecco tra il 2016 e il 2023.

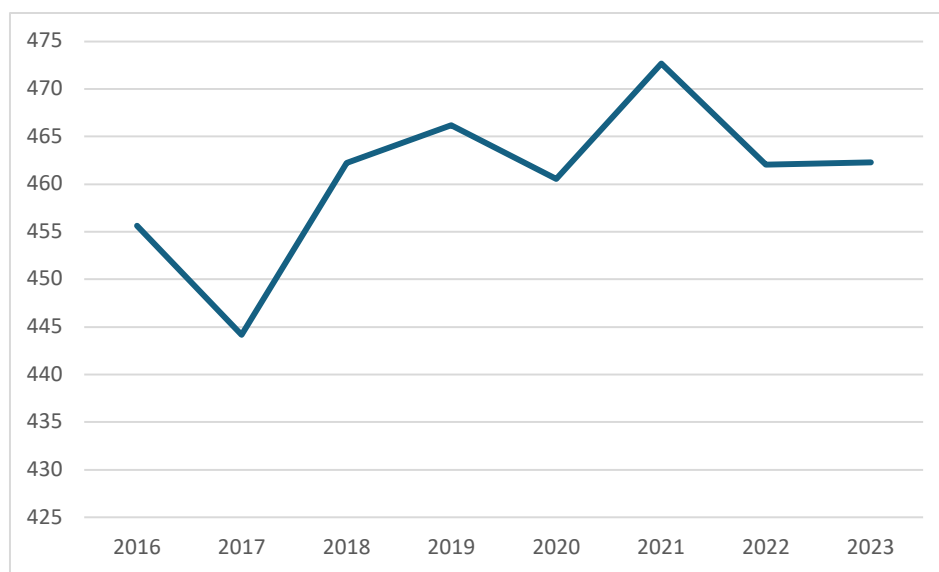


**Figura 3.6:** Andamento della produzione totale di rifiuti pro capite (kg/ab) nella provincia di Lecco (2016–2023).

A differenza di quanto osservato per il rifiuto indifferenziato, la produzione complessiva non evidenzia una tendenza chiaramente decrescente, ma presenta oscillazioni nel tempo attorno a un livello relativamente stabile. Dopo una riduzione tra il 2016 e il 2017, i valori tornano a crescere nel biennio successivo, mantenendosi su livelli prossimi ai 480–485 kg per abitante. Nel 2021 si osserva un picco della produzione pro capite, seguito da una flessione nel 2022 e da un nuovo aumento nel 2023. Nel complesso, la produzione totale di rifiuti pro capite rimane sostanzialmente stabile lungo l'intero periodo considerato. Questo andamento suggerisce che la significativa riduzione del rifiuto indifferenziato osservata negli stessi anni non sia stata accompagnata da una diminuzione della quantità complessiva di rifiuti prodotti, ma piuttosto da una loro diversa composizione. In particolare, l'aumento

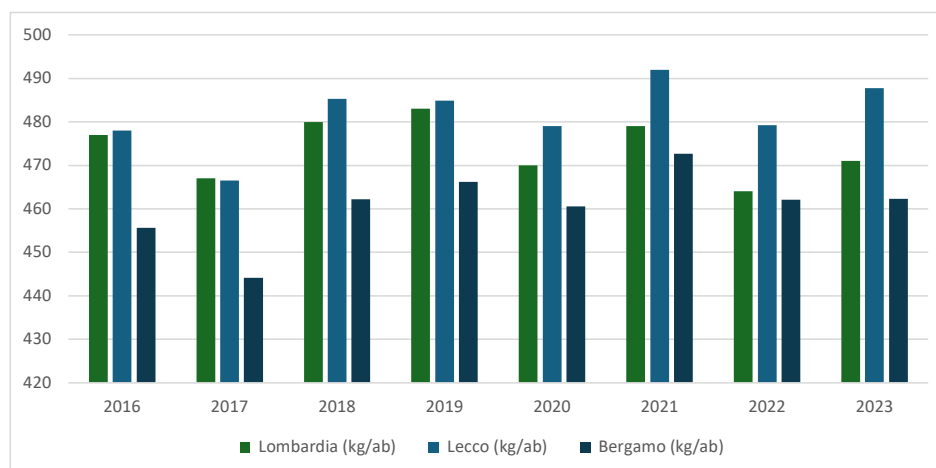
della raccolta differenziata sembra aver compensato la riduzione del rifiuto residuo, indicando un miglioramento delle modalità di conferimento più che una contrazione dei livelli di consumo.

La Figura 3.7 mostra invece l'andamento della produzione totale di rifiuti urbani pro capite nella provincia di Bergamo nel periodo 2016–2023.



**Figura 3.7:** Andamento della produzione totale di rifiuti pro capite (kg/ab) nella provincia di Bergamo (2016–2023).

Anche in questo caso, la dinamica non evidenzia una tendenza chiaramente decrescente, ma presenta oscillazioni nel tempo attorno a livelli relativamente stabili. Dopo una flessione nel 2017, la produzione pro capite aumenta nel biennio successivo, raggiungendo un massimo nel 2021, per poi ridursi e stabilizzarsi negli ultimi anni del periodo considerato. Nel complesso, l'andamento risulta coerente con quanto osservato per la provincia di Lecco e suggerisce che le riduzioni del rifiuto indifferenziato non siano state accompagnate da una contrazione significativa della produzione complessiva di rifiuti. La Figura 3.8 confronta la produzione totale di rifiuti urbani pro capite nelle province di Lecco e Bergamo con i valori regionali nel periodo 2016–2023.



**Figura 3.8:** Andamento della produzione totale di rifiuti urbani pro capite: confronto Bergamo–Lecco–Lombardia (2016–2023).

Dal confronto tra i livelli di produzione totale di rifiuti urbani pro capite emerge come la provincia di Bergamo presenti valori sistematicamente inferiori rispetto ai livelli regionali, mentre la provincia di Lecco si colloca su livelli generalmente prossimi a quelli regionali lungo l'intero periodo considerato. In linea con quanto evidenziato dalla letteratura e dai rapporti ISPRA sui territori che adottano sistemi *Pay-as-you-throw*, l'effetto principale appare riconducibile a una ricomposizione interna delle frazioni raccolte: la riduzione del rifiuto indifferenziato risulta infatti compensata da una maggiore intercettazione delle frazioni differenziabili, in particolare della frazione organica e degli imballaggi.

### 3.3.4 Considerazioni e implicazioni di policy

Nel complesso, l'analisi descrittiva evidenzia come tra il 2016 e il 2023 la gestione dei rifiuti nella provincia di Lecco e Bergamo abbia mostrato un miglioramento delle performance ambientali: la quota di raccolta differenziata è cresciuta, mentre la produzione di rifiuto indifferenziato pro capite si è progressivamente ridotta.

Questi risultati delineano, da un lato, un aumento dell'efficienza del sistema di raccolta e, dall'altro, una riduzione del quantitativo di rifiuto residuo non recuperabile. Ciò suggerisce che i progressi osservati non derivino unicamente

da un miglioramento organizzativo del servizio, ma possano riflettere anche un adattamento nei comportamenti degli utenti.

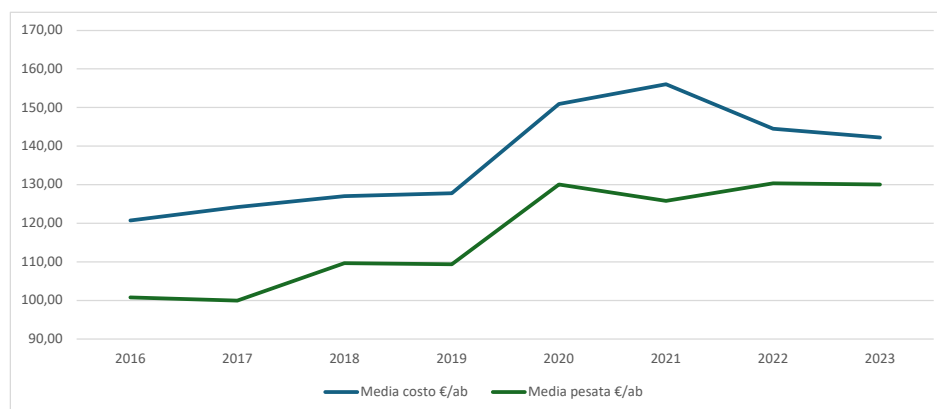
Un ulteriore aspetto rilevante, spesso trascurato nelle valutazioni basate esclusivamente su indicatori quantitativi, riguarda la qualità delle frazioni raccolte e il suo impatto sulla sostenibilità economica del servizio. Il sistema dei corrispettivi riconosciuti dal Consorzio Nazionale Imballaggi (CONAI) ai Comuni dipende infatti non solo dalle quantità di materiale conferito, ma soprattutto dal grado di purezza delle frazioni differenziate. Una maggiore presenza di impurità comporta costi aggiuntivi per le operazioni di selezione e trattamento, determina tassi di scarto più elevati e riduce i ricavi ottenibili attraverso i corrispettivi di filiera. Nei contesti che adottano sistemi di tariffazione puntuale, questo aspetto assume un'importanza ancora maggiore. Una riduzione del rifiuto indifferenziato ottenuta mediante uno spostamento improprio di materiali non riciclabili nelle raccolte differenziate può infatti generare risultati solo apparentemente positivi sul piano ambientale, ma produrre effetti negativi sul piano economico. In tali casi, l'aumento della percentuale di raccolta differenziata non si traduce in un reale incremento del riciclo effettivo, né in una riduzione dei costi complessivi del servizio. Per garantire che i benefici ambientali si traducano anche in una maggiore efficienza economica, la tariffazione puntuale deve essere accompagnata da iniziative di comunicazione ambientale, controlli sulla qualità dei conferimenti e sistemi di monitoraggio delle frazioni raccolte. Solo attraverso il mantenimento di standard qualitativi elevati è possibile massimizzare i ricavi derivanti dai corrispettivi di filiera e ridurre gli oneri per i Comuni, assicurando che la riduzione del rifiuto residuo sia reale e non ottenuta mediante comportamenti opportunistici. In sintesi, l'interpretazione dei risultati quantitativi richiede un'attenzione congiunta alla dimensione qualitativa e alla struttura economica del servizio: solo considerando congiuntamente tali dimensioni è possibile valutare correttamente la sostenibilità complessiva del modello adottato. Le sezioni successive approfondiscono proprio tale relazione, esaminando come i miglioramenti ambientali si riflettano sui costi e sulle dinamiche tariffarie dei Comuni.

## 3.4 Analisi economica e dei costi

L'evoluzione delle performance ambientali mostra già, da una prima analisi descrittiva, una chiara tendenza al miglioramento successiva all'introduzione dei sistemi di misurazione puntuale e tariffazione del rifiuto residuo. Resta ora da verificare se tali progressi si riflettano anche sul piano economico, in termini di variazione dei costi pro capite del servizio di gestione dei rifiuti urbani. La sezione successiva approfondisce questo aspetto. A causa della mancata disponibilità dei dati relativi al costo totale di gestione del rifiuto indifferenziato a partire dal 2021, l'analisi dei costi viene condotta esclusivamente sull'andamento del costo totale pro capite del servizio.

### 3.4.1 Andamento del costo totale pro capite

L'analisi del costo totale pro capite consente di valutare l'andamento nel tempo della spesa sostenuta dai comuni della provincia di Lecco per il servizio di igiene urbana, rapportata alla popolazione residente. La Figura 3.9 mostra l'evoluzione della media e della media pesata del costo totale per abitante nel periodo 2016–2023.

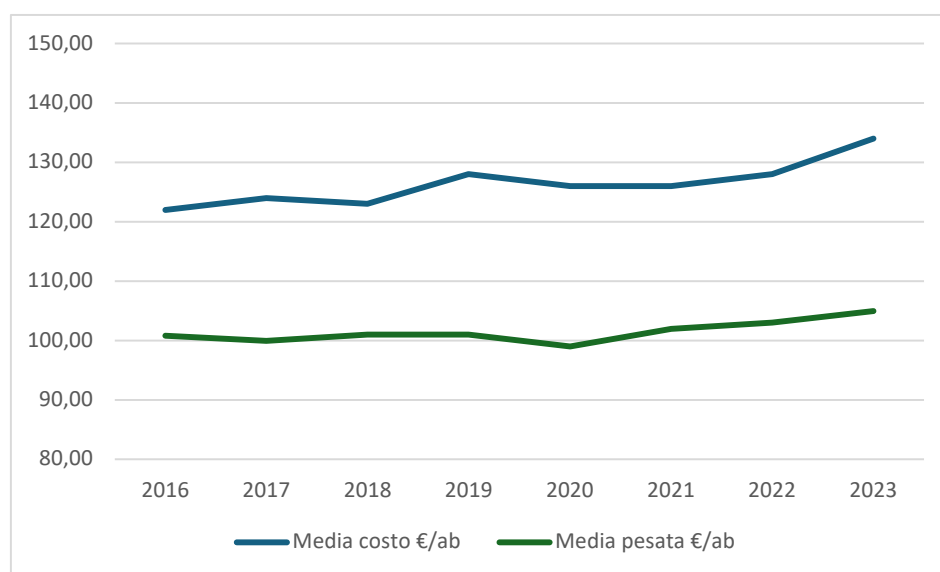


**Figura 3.9:** Andamento del costo totale pro capite nella provincia di Lecco (2016–2023).

Nel periodo considerato, il costo medio pro capite evidenzia una tendenza complessivamente crescente fino al 2021, passando da circa 120 €/ab nel 2016 a circa 156 €/ab, con un incremento superiore al 25%. Tale dinamica suggerisce una

fase di progressivo aumento della spesa, verosimilmente associata al processo di riorganizzazione del servizio di gestione dei rifiuti, che ha interessato numerosi comuni della provincia nel periodo considerato, nonché a un generale aumento dei costi di trattamento e smaltimento osservabile anche a livello regionale. A partire dal 2021, anno in cui il capoluogo e un numero rilevante di comuni hanno avviato il sistema di misurazione puntuale del rifiuto residuo, si osserva una lieve riduzione dei costi medi, che si attestano intorno a 140 €/ab nel 2023. Tale andamento può essere interpretato come una fase di graduale stabilizzazione successiva all'introduzione del nuovo sistema di raccolta, durante la quale emergono potenziali miglioramenti nell'efficienza operativa del servizio. La media pesata, che tiene conto della popolazione residente, si colloca stabilmente su valori inferiori rispetto alla media semplice per l'intero periodo di osservazione. Questo divario indica che i comuni più popolosi tendono a sostenere costi unitari inferiori rispetto a quelli di dimensioni minori, un risultato coerente con la presenza di economie di scala nella gestione del servizio di igiene urbana. Nel complesso, l'andamento del costo totale pro capite nella provincia di Lecco suggerisce un sistema che, dopo una fase iniziale di crescita della spesa, mostra segnali di contenimento e stabilizzazione, anticipando l'importanza dell'analisi econometrica per valutare in modo più rigoroso l'effetto della misurazione e della tariffazione puntuale sui costi del servizio.

Per quanto riguarda la provincia di Bergamo, la Figura 3.10 mostra l'andamento della media e della media pesata del costo totale per abitante nel periodo 2016–2023.



**Figura 3.10:** Andamento del costo totale pro capite nella provincia di Bergamo (2016–2023).

Nel periodo considerato, il costo medio pro capite presenta un andamento complessivamente moderato e tendenzialmente crescente, passando da circa 122 €/ab nel 2016 a circa 134 €/ab nel 2023. L'incremento osservato risulta contenuto e privo di variazioni improvvise, delineando una dinamica di costo relativamente stabile nel tempo, soprattutto se confrontata con quanto emerso per la provincia di Lecco. La media pesata, calcolata tenendo conto della popolazione residente, si colloca stabilmente su valori inferiori rispetto alla media semplice per l'intero periodo di osservazione, attestandosi intorno ai 100 €/ab nel 2016 e raggiungendo circa 105 €/ab nel 2023. Tale differenza suggerisce che i comuni di maggiori dimensioni tendono a sostenere costi unitari più contenuti, mentre i valori più elevati della media semplice risultano influenzati da comuni di dimensioni ridotte caratterizzati da costi pro capite più elevati. Nel complesso, l'andamento del costo totale pro capite nella provincia di Bergamo evidenzia una crescita graduale e priva di discontinuità marcate, senza variazioni evidenti riconducibili a specifiche fasi di riorganizzazione del servizio o all'introduzione della misurazione o tariffazione puntuale. Questo profilo suggerisce una maggiore stabilità del sistema nel periodo considerato e anticipa il ruolo dell'analisi econometrica nel valutare se, e in che misura, l'adozione dei nuovi strumenti tariffari abbia inciso sui costi a livello comunale.

## 3.5 Metodologia econometrica

L'obiettivo dell'analisi econometrica è stimare l'effetto causale dell'introduzione dei sistemi di misurazione puntuale e della tariffazione puntuale sull'evoluzione degli indicatori di gestione dei rifiuti dei Comuni lombardi. A livello empirico, i Comuni adottano la misurazione puntuale e la tariffazione puntuale in anni differenti, mentre una parte di essi non introduce nessuno dei due strumenti nel periodo considerato. Questa configurazione, nota come *variation in treatment timing*, è tipica delle politiche pubbliche implementate in modo graduale e consente di sfruttare la variabilità temporale e trasversale nell'adozione delle misure. Seguendo l'impostazione di Goodman-Bacon (2021), l'analisi adotta un modello *Difference-in-Differences* (DiD) con effetti fissi comunali e temporali, che permette di confrontare l'evoluzione degli esiti nei Comuni trattati e non trattati, controllando per caratteristiche invarianti nel tempo e per shock comuni a tutti i Comuni in ciascun anno. Tale approccio consente di stimare separatamente l'effetto dell'introduzione della misurazione puntuale e quello della tariffazione puntuale, isolandone l'impatto medio sugli indicatori analizzati.

### 3.5.1 Disegno di identificazione e validità causale

La strategia di identificazione si basa sul confronto tra Comuni che introducono sistemi di misurazione puntuale e tariffazione puntuale e Comuni che non adottano tali strumenti nello stesso anno o che non li introducono mai nel periodo considerato. Un semplice confronto "prima-dopo" limitato ai soli Comuni trattati non sarebbe informativo, poiché eventuali variazioni negli outcome potrebbero riflettere shock concomitanti non legati alle policy, quali riorganizzazioni consortili, campagne ambientali o cambiamenti esogeni nei comportamenti dei cittadini. Il modello *Difference-in-Differences* (DiD) consente di superare questo problema confrontando le variazioni nel tempo tra gruppi trattati e non trattati. Al fine di distinguere gli effetti delle diverse fasi di innovazione del servizio, l'analisi introduce due variabili di trattamento. La variabile  $M_{c,t}$  assume valore pari a 1 a partire dall'anno di introduzione della misurazione puntuale nel Comune  $c$  e 0 negli anni precedenti, mentre la variabile  $T_{c,t}$  assume valore pari a 1 a partire dall'anno di adozione della tariffazione puntuale. Per costruzione, l'adozione della TARIP presuppone la

presenza della misurazione puntuale; di conseguenza, nel campione vale  $T_{c,t} = 1 \Rightarrow M_{c,t} = 1$ . I Comuni che non adottano uno o entrambi gli strumenti mantengono valore 0 per l'intero periodo di osservazione. L'identificazione dell'effetto causale si basa quindi sulla variazione relativa degli outcome associata all'introduzione della misurazione e della tariffazione, confrontata con l'evoluzione osservata nei Comuni non trattati. Un'ipotesi cruciale per garantire l'identificazione causale nel modello DiD è quella dei *parallel trends*. Essa richiede che, in assenza dell'introduzione della misurazione e della tariffazione puntuale, gli outcome dei Comuni che adotteranno tali strumenti e quelli che non li adotteranno avrebbero seguito andamenti paralleli nel tempo. Sotto questa assunzione, le differenze osservate dopo l'introduzione delle policy possono essere interpretate come effetti causali medi. Per rafforzare la validità causale della stima, il modello controlla per tutte le differenze strutturali tra i Comuni che potrebbero influenzare gli outcome. In particolare, vengono inclusi:

- effetti fissi comunali ( $FE_c$ ), che catturano tutte le caratteristiche invarianti nel tempo dei Comuni, quali aspetti demografici, geografici e istituzionali;
- effetti fissi annuali ( $FE_t$ ), che assorbono shock comuni a tutti i Comuni in un dato anno, come cambiamenti normativi, dinamiche macroeconomiche o variazioni nei costi di trattamento e smaltimento;
- errori standard clusterizzati a livello comunale, al fine di tenere conto della possibile correlazione seriale degli errori all'interno di ciascun Comune nel tempo.

La stima è implementata tramite un modello a effetti fissi a due vie (*Two-Way Fixed Effects*, TWFE), che consente di controllare simultaneamente per l'eterogeneità invariante nel tempo tra Comuni e per shock comuni a tutti i Comuni negli stessi anni. Nel contesto di adozione scaglionata, l'estimatore TWFE combina informazioni provenienti sia da confronti tra Comuni trattati e non trattati, sia da confronti tra gruppi di Comuni che adottano le policy in anni differenti. Come mostrato da Goodman-Bacon (2021), in presenza di timing eterogeneo del trattamento, l'estimatore TWFE può essere interpretato come una media ponderata di singole stime DiD ottenute confrontando gruppi che adottano le policy in anni diversi o che non le adottano mai. Tale risultato chiarisce la struttura dell'informazione sfruttata dal modello e rende trasparente come l'estimatore TWFE combini confronti tra gruppi con timing di adozione differente, permettendo di stimare l'effetto medio

della misurazione puntuale e della tariffazione puntuale sugli outcome analizzati.

### 3.5.2 Il modello stimato

La specificazione econometrica adottata è la seguente:

$$y_{c,t} = \beta_0 + \beta_1 M_{c,t} + \beta_2 T_{c,t} + FE_c + FE_t + \varepsilon_{c,t} \quad (3.1)$$

dove:

- $y_{c,t}$  rappresenta l'outcome di interesse osservato nel Comune  $c$  nell'anno  $t$ ;
- $\beta_0$  è l'intercetta;
- $M_{c,t}$  è una variabile indicatrice che assume valore pari a 1 a partire dall'anno di introduzione della misurazione puntuale nel Comune  $c$  e 0 negli anni precedenti;
- $T_{c,t}$  è una variabile indicatrice che assume valore pari a 1 a partire dall'anno di adozione della tariffazione puntuale nel Comune  $c$  e 0 negli anni precedenti;
- $\beta_1$  misura l'effetto medio dell'introduzione della misurazione puntuale sull'outcome in assenza di TARIP;
- $\beta_2$  misura l'effetto medio aggiuntivo dell'introduzione della tariffazione puntuale, condizionatamente alla presenza della misurazione;
- $FE_c$  e  $FE_t$  sono rispettivamente gli effetti fissi comunali e annuali, che controllano per caratteristiche invarianti nel tempo dei Comuni e per shock comuni a tutti i Comuni in ciascun anno;
- $\varepsilon_{c,t}$  è il termine di errore idiosincratico.

Data la definizione delle variabili di trattamento,  $\beta_1$  identifica l'effetto medio del passaggio alla misurazione puntuale in assenza di TARIP ( $M_{c,t} = 1, T_{c,t} = 0$ ), mentre  $\beta_2$  misura l'effetto medio aggiuntivo dell'introduzione della TARIP rispetto alla sola misurazione ( $M_{c,t} = 1, T_{c,t} = 1$ ). Ne consegue che l'effetto complessivo della TARIP rispetto alla situazione pre-trattamento ( $M_{c,t} = 0, T_{c,t} = 0$ ) è pari a  $\beta_1 + \beta_2$ . L'interpretazione dei coefficienti nel caso di adozione scaglionata segue quanto discusso nella sezione precedente sul disegno di identificazione e sulle proprietà dell'estimatore TWFE.

Poiché molti indicatori sono espressi in livelli, come le quantità di rifiuti o i costi pro capite, tali variabili vengono trasformate nel logaritmo naturale prima della

stima. Questa trasformazione consente di attenuare l'influenza dei valori estremi e di interpretare i coefficienti stimati come variazioni percentuali dell'outcome associate all'introduzione della misurazione e della tariffazione puntuale. Le variabili già espresse in termini percentuali, come la quota di raccolta differenziata, sono invece lasciate nella loro forma originale.

### 3.5.3 Pattern di adozione e copertura del trattamento

Poiché l'identificazione nel modello DiD sfrutta la variazione nel timing di adozione, è utile sintetizzare come si compone il campione anno per anno: la Tabella 3.7 presenta il numero di Comuni e la quota di popolazione nei tre stati.

**Tabella 3.7:** Pattern di adozione scaglionata: comuni e popolazione per stato di trattamento (2016–2023).

Anno	Stato 0: nessuna adozione		Stato 1: solo misurazione		Stato 2: misurazione + TARIP	
	N comuni	Pop. (%)	N comuni	Pop. (%)	N comuni	Pop. (%)
2016	543	94.91	14	4.12	4	0.98
2017	538	94.00	14	4.29	7	1.71
2018	528	92.71	13	3.32	14	3.97
2019	524	91.48	14	3.61	16	4.91
2020	513	88.57	22	6.06	18	5.37
2021	483	73.99	50	20.09	20	5.92
2022	448	65.69	83	27.73	22	6.58
2023	458	67.52	64	23.23	31	9.25

*Nota:* Stato 0 = nessuna adozione; Stato 1 = sola misurazione puntuale; Stato 2 = misurazione puntuale e TARIP. Le percentuali di popolazione sono calcolate sul totale della popolazione osservata in ciascun anno.

La Tabella 3.7 sintetizza il pattern di adozione scaglionata nel campione, distinguendo tra Comuni che non adottano strumenti puntuali (stato 0), Comuni che introducono la sola misurazione puntuale (stato 1) e Comuni che adottano misurazione e tariffazione puntuale (stato 2). Nel complesso, la dinamica evidenzia un progressivo spostamento di Comuni e popolazione dallo stato 0 verso forme di trattamento, con un'accelerazione particolarmente marcata a partire dal 2021: aumenta infatti la quota di osservazioni in stato 1, coerentemente con l'avvio dei

sistemi di misurazione puntuale nella provincia di Lecco, dove il tracciamento risulta implementato anche in assenza di un contestuale passaggio alla tariffazione. Parallelamente, lungo l'intero periodo cresce anche la presenza dello stato 2, indicando una diffusione graduale della tariffazione nel campione, sebbene più contenuta rispetto all'espansione della sola misurazione. Nel complesso, questi andamenti confermano la natura scaglionata dell'adozione e motivano l'impostazione empirica della successiva analisi econometrica.

## Capitolo 4

# Risultati dell'analisi econometrica e discussione

### 4.1 Inquadramento dell'analisi e richiamo agli obiettivi

Il presente capitolo è dedicato alla presentazione e alla discussione dei risultati dell'analisi econometrica finalizzata a valutare gli effetti dell'adozione dei sistemi di misurazione puntuale e di tariffazione puntuale nel servizio di gestione dei rifiuti urbani. In linea con gli obiettivi della tesi, l'analisi si concentra su due dimensioni principali: da un lato le performance ambientali e dall'altro gli effetti economici.

L'obiettivo è distinguere l'impatto della sola misurazione puntuale dall'effetto aggiuntivo della tariffazione puntuale, al fine di comprendere in che misura ciascun intervento contribuisca a migliorare l'efficienza del sistema di gestione dei rifiuti.

### 4.2 Struttura delle stime e interpretazione dei coefficienti

Nei paragrafi che seguono vengono presentati i risultati delle regressioni a effetti fissi utilizzate per valutare l'impatto dell'adozione della misurazione puntuale e della tariffazione puntuale sulle diverse variabili del servizio di gestione dei rifiuti urbani.

Le stime sono condotte a livello comunale e includono effetti fissi di comune e di anno, al fine di catturare l'eterogeneità non osservabile costante nel tempo e per gli shock comuni a tutti i comuni in ciascun anno. Le tabelle dei risultati sono strutturate in modo tale che ogni colonna rappresenti una specifica regressione, caratterizzata da una diversa variabile dipendente. Tali variabili sono state suddivise in indicatori di performance ambientale e indicatori di natura economica. La prima riga di ciascuna tabella riporta i coefficienti associati alle variabili di interesse, ovvero l'adozione della misurazione puntuale e, ove previsto, l'adozione della tariffazione puntuale. Tali coefficienti misurano l'effetto medio dell'introduzione di ciascun strumento rispetto ai comuni che non lo hanno ancora adottato, a parità delle altre condizioni considerate nel modello. Per le variabili dipendenti espresse in livelli, come la percentuale di raccolta differenziata, i coefficienti sono interpretabili come variazioni in punti percentuali. Al contrario, quando la variabile dipendente è espressa in logaritmi, i coefficienti si interpretano come variazioni percentuali della variabile dipendente: un coefficiente  $\beta$  corrisponde a una variazione di  $100 \cdot (\exp(\beta) - 1)\%$ . Per valori piccoli di  $\beta$ , tale variazione è ben approssimata da  $100 \cdot \beta\%$ . I numeri riportati tra parentesi sotto ciascun coefficiente rappresentano gli errori standard clusterizzati a livello comunale, utilizzati per valutare la precisione delle stime e tenere conto della possibile correlazione seriale all'interno delle osservazioni riferite allo stesso comune. La significatività statistica dei coefficienti è indicata mediante asterischi ( $*p < 0,10$ ,  $**p < 0,05$ ,  $***p < 0,01$ ): in altre parole, più asterischi segnalano una maggiore evidenza che il coefficiente sia diverso da zero (ossia che l'effetto stimato non sia attribuibile solo al caso). Infine, le righe relative agli effetti fissi indicano la presenza di controlli per il comune e per l'anno, mentre il numero di osservazioni riporta il totale delle coppie comune-anno incluse in ciascuna regressione. Nelle specificazioni in cui compaiono congiuntamente misurazione puntuale e TARIP, il coefficiente associato alla tariffazione va interpretato come effetto aggiuntivo della componente tariffaria rispetto alla sola misurazione. Per completezza, si segnala che le stime sono state replicate per un insieme più ampio di variabili dipendenti rispetto a quelle riportate nelle tabelle di seguito presentate. In aggiunta, per ragioni di sintesi, nel capitolo vengono mostrate e discusse le specificazioni più rilevanti per gli obiettivi dell'analisi, dando priorità ai risultati particolarmente informativi. Le ulteriori stime che non risultano significative non sono riportate.

## 4.3 Risultati dell'adozione della sola misurazione puntuale

### 4.3.1 Adozione della misurazione puntuale e caratteristiche dei comuni

Nell'area oggetto di analisi, l'adozione della misurazione puntuale risulta concentrata esclusivamente nelle province di Bergamo e Lecco, che costituiscono pertanto il gruppo trattato dell'analisi, mentre le province di Como e Sondrio rappresentano un gruppo di controllo naturale. La Tabella 4.1 mostra che l'adozione della

**Tabella 4.1:** Misurazione puntuale per classi demografiche (Bergamo e Lecco, 2023).

Classe pop.	N comuni	Comuni MP	Incidenza MP (%)	Pop. totale	Pop. in MP	Incidenza pop. (%)	Quota comuni MP (%)	Quota pop. MP (%)
< 5k	236	46	19.5	488,450	146,166	29.9	48.4	20.5
5-9,999	68	34	50.0	470,042	228,402	48.6	35.8	32.0
10-19,999	17	11	64.7	213,758	141,326	66.1	11.6	19.8
≥ 20k	6	4	66.7	268,677	197,914	73.7	4.2	27.7

*Note:* La tabella riporta (i) il numero di comuni e comuni con misurazione puntuale (MP) per classe demografica, (ii) l'*incidenza* della MP all'interno di ciascuna classe (quota di comuni/popolazione della classe in MP), e (iii) la *composizione* del totale MP (quota dei comuni MP e della popolazione MP che ricade in ciascuna classe).

misurazione puntuale non è uniforme rispetto alla dimensione dei comuni, ma aumenta in modo marcato al crescere della popolazione residente, suggerendo la presenza di economie di scala e di requisiti organizzativi che diventano più sostenibili per enti di dimensione medio-grande. In termini di incidenza all'interno delle classi, la misurazione puntuale risulta relativamente rara tra i comuni sotto i 5.000 abitanti (19,5%), mentre diventa molto più frequente nelle fasce successive: raggiunge il 50,0% nella classe 5.000–9.999 e supera il 60% nelle classi 10.000–19.999 (64,7%) e ≥20.000 (66,7%). Questo profilo indica che la misurazione puntuale tende a diffondersi soprattutto quando il comune raggiunge una dimensione sufficiente a sostenere i costi di riorganizzazione del servizio e di investimento nelle tecnologie di tracciamento dei conferimenti. Un pattern coerente emerge anche guardando alla popolazione: la quota di residenti che vive in comuni con misurazione puntuale cresce progressivamente con la classe demografica, passando

dal 29,9% nei comuni sotto i 5.000 abitanti fino al 73,7% nella classe  $\geq 20.000$ . Ciò suggerisce che la diffusione della misurazione puntuale non riguarda solo un numero crescente di enti, ma si traduce anche in una copertura via via più ampia della popolazione nelle classi più grandi. La lettura cambia, invece, quando si considera la composizione del totale dei comuni in misurazione puntuale. Pur presentando un'incidenza inferiore, i comuni sotto i 5.000 abitanti concentrano quasi metà degli enti che adottano la misurazione puntuale (48,4%), seguiti dalla fascia 5.000–9.999 (35,8%). Questo risultato è in parte atteso, poiché le classi demografiche più piccole rappresentano una quota rilevante dell'universo comunale e, di conseguenza, incidono maggiormente in termini numerici sul totale degli adottanti. Tuttavia, la composizione della popolazione coperta dalla misurazione puntuale presenta un profilo differente: la popolazione in comuni con MP si concentra soprattutto nelle fasce 5.000–9.999 (32,0%) e  $\geq 20.000$  (27,7%), mentre i comuni sotto i 5.000 abitanti rappresentano solo il 20,5% della popolazione complessivamente coperta. Ne deriva che, se l'adozione è numericamente più diffusa tra i comuni piccoli e medio-piccoli, la copertura effettiva in termini di residenti è maggiormente trainata dalle classi demografiche più grandi. Nel complesso, l'evidenza descrittiva suggerisce che la misurazione puntuale è un'innovazione presente anche nei comuni di piccola dimensione, ma la maggiore incidenza nelle classi medio-grandi e la distribuzione della popolazione coperta indicano una diffusione che coinvolge in modo rilevante realtà amministrativamente più strutturate. Questa eterogeneità dimensionale è rilevante anche per l'interpretazione dei risultati econometrici successivi, poiché segnala che il gruppo dei comuni in misurazione puntuale non è omogeneo rispetto alla scala demografica.

### 4.3.2 Effetti sulla produzione e composizione dei rifiuti

I risultati riportati nella Tabella 4.2 consentono di analizzare gli effetti associati all'adozione della misurazione puntuale del rifiuto secco residuo. In primo luogo, l'adozione della misurazione puntuale è associata a un aumento statisticamente significativo della percentuale di raccolta differenziata, pari a 3,26 punti percentuali (colonna (1)). Tale risultato suggerisce che l'introduzione di un sistema che riconosce l'utente durante la raccolta sia in grado di incidere positivamente sui

comportamenti di separazione dei rifiuti anche in assenza di un incentivo tariffario diretto, migliorando la composizione complessiva dei flussi raccolti. Coerentemente

**Tabella 4.2:** Effetti della misurazione puntuale sulle performance ambientali.

	Variabile dipendente				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	RD (%)	ln(RD ton)	ln(RD kg/pc)	ln(Indiff. ton)	ln(Indiff. kg/pc)
Misurazione puntuale	3.26*** (0.63)	0.0268* (0.012)	0.0245* (0.014)	-0.291*** (0.029)	-0.2945* (0.033)
Effetti fissi comune	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Effetti fissi anno	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Osservazioni	4,348	4,348	4,295	4,348	4,348

*Note:* Coefficienti stimati mediante regressioni a effetti fissi comune-anno. Gli errori standard clusterizzati a livello comunale sono riportati tra parentesi. \*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0.1$ . Per la percentuale di raccolta differenziata l'effetto è espresso in punti percentuali; per le variabili in log, le variazioni percentuali riportate nel testo sono calcolate come  $100 \cdot (\exp(\beta) - 1)$ .

con questo risultato, emerge un aumento sia delle tonnellate di raccolta differenziata sia della produzione pro capite della stessa: l'introduzione della misurazione puntuale è associata infatti a un incremento di circa +2,7% delle quantità raccolte ln(RD\_ton) (colonna (2)) e di circa +2,5% della raccolta differenziata pro capite ln(RD\_kg\_pc) (colonna (3)). Accanto a questo si registra una marcata riduzione del rifiuto urbano residuo di circa il 25,3% delle quantità di rifiuto indifferenziato prodotte ln(indiff\_ton) (colonna (4)). Questo rappresenta l'effetto di maggiore entità e suggerisce che la misurazione possa incidere sulle modalità di conferimento dei rifiuti, favorendo il corretto smistamento delle frazioni.

Tale evidenza è ulteriormente rafforzata dall'analisi delle variabili pro capite, che mostra una riduzione statisticamente significativa del rifiuto indifferenziato pro capite ln(indiff\_kg\_pc) pari a circa il 25,5% (colonna (5)). Questo risultato indica che l'effetto osservato non è riconducibile esclusivamente a variazioni demografiche, ma riflette un effettivo cambiamento nei comportamenti individuali di conferimento. Per quanto riguarda la produzione complessiva pro capite (Tabella 4.3), si osserva infine una riduzione della produzione totale di rifiuti urbani pro capite ln(ru\_kg\_pc)

**Tabella 4.3:** Effetti della misurazione puntuale su RU pro capite.

	Variabile dipendente
	(1)
	ln(RU kg/pc)
Misurazione puntuale	-0.0423* (0.0224)
Effetti fissi comune	Yes
Effetti fissi anno	Yes
Osservazioni	4,279

*Note:* Come Tabella 4.2

pari a circa il 4,1% (colonna (1)). Sebbene si tratti di un effetto di entità più contenuta rispetto ai risultati ottenuti per gli altri indicatori, tale diminuzione suggerisce che la misurazione puntuale possa contribuire anche a una moderata riduzione della produzione complessiva di rifiuti.

### 4.3.3 Effetti economici della sola misurazione

I risultati relativi agli effetti economici della sola misurazione puntuale sono riportati nella Tabella 4.4. Le stime mostrano che l'introduzione del sistema di misurazione del rifiuto secco residuo è associata a una riduzione statisticamente significativa dei costi totali del servizio di gestione dei rifiuti urbani. In particolare, il coefficiente stimato indica una diminuzione dei costi complessivi pari a circa il 24,9% (colonna (1)), suggerendo che la misurazione puntuale possa contribuire a una maggiore efficienza nella gestione del servizio, anche in assenza di un meccanismo tariffario. È

**Tabella 4.4:** Effetti della misurazione puntuale sulle variabili economiche.

	Variabile dipendente (1) ln(Costi totali)
Misurazione puntuale	-0.287*** (0.048)
Effetti fissi comune	Yes
Effetti fissi anno	Yes
Osservazioni	3,815

*Note:* Come Tabella 4.2.

tuttavia rilevante notare che, a fronte della significativa riduzione dei costi totali di gestione, l'analisi non evidenzia variazioni statisticamente significative nelle entrate tariffarie, né in termini totali né pro capite. I coefficienti stimati per queste variabili risultano infatti positivi ma di entità trascurabile e non significativi. Ciò suggerisce che, nella fase di introduzione della sola misurazione puntuale, i benefici economici derivanti dall'efficientamento dei costi non vengono immediatamente traslati in una

riduzione del prelievo tariffario sui cittadini, o che la struttura delle tariffe presenti una rigidità nel breve periodo che ne impedisce un rapido adeguamento.

## 4.4 Risultati dell'adozione della tariffazione puntuale

### 4.4.1 Adozione della TARIP e caratteristiche dei comuni

L'adozione della tariffazione puntuale nell'area analizzata risulta concentrata esclusivamente nella provincia di Bergamo. La Tabella 4.5 descrive la diffusione della

**Tabella 4.5:** Tariffazione puntuale (TARIP) per classi demografiche (Bergamo e Lecco, 2023).

Classe pop.	N comuni	Comuni TARIP	Incidenza TARIP (%)	Pop. totale	Pop. in TARIP	Incidenza pop. (%)	Quota comuni TARIP (%)	Quota pop. TARIP (%)
< 5k	236	9	3.8	488,450	36,237	7.4	29.0	17.8
5-9.999	68	19	27.9	470,042	127,351	27.1	61.3	62.7
10-19.999	17	3	17.6	213,758	39,613	18.5	9.7	19.5
≥ 20k	6	0	0.0	268,677	0	0.0	0.0	0.0

*Note:* La tabella riporta (i) il numero di comuni e comuni con tariffazione puntuale (TARIP) per classe demografica, (ii) l'*incidenza* della TARIP all'interno di ciascuna classe (quota di comuni/popolazione della classe in TARIP), e (iii) la *composizione* del totale TARIP (quota dei comuni TARIP e della popolazione TARIP che ricade in ciascuna classe).

tariffazione puntuale per classi demografiche. I risultati mostrano che l'adozione della TARIP non è uniforme rispetto alla dimensione dei comuni, ma risulta concentrata nelle fasce medio-piccole. In particolare, nella classe sotto i 5.000 abitanti l'incidenza è molto contenuta: applicano la TARIP 9 comuni su 236, pari al 3,8%. L'incidenza cresce nettamente nella fascia 5.000–9.999 abitanti, dove 19 comuni su 68 adottano la TARIP (27,9%), rappresentando la quota più elevata tra le classi considerate. Nella fascia 10.000–19.999 abitanti l'incidenza scende al 17,6%, mentre nei comuni con almeno 20.000 abitanti non si osservano casi di TARIP. Questa configurazione emerge con ancora maggiore chiarezza guardando alla composizione del totale TARIP. La fascia 5.000–9.999 abitanti concentra la maggior parte dei comuni TARIP (61,3%) e della popolazione residente in comuni TARIP (62,7%), indicando che la tariffazione puntuale, nell'area analizzata, è soprattutto un fenomeno tipico dei comuni di dimensione intermedia. Al contrario, i comuni sotto i 5.000

abitanti, pur numerosi nel totale, contribuiscono in misura più limitata al totale TARIP (29,0% dei comuni TARIP e 17,8% della popolazione TARIP). La fascia 10.000–19.999 abitanti presenta un peso intermedio (9,7% dei comuni TARIP e 19,5% della popolazione TARIP), mentre l'assenza nei comuni più grandi suggerisce la presenza di vincoli organizzativi e gestionali più stringenti per l'adozione di un sistema tariffario più complesso. Nel complesso, l'evidenza descrittiva è coerente con l'idea che la TARIP richieda un livello di strutturazione amministrativa e operativa che risulta più facilmente sostenibile nei comuni medio-piccoli, mentre nei comuni molto piccoli o molto grandi possono prevalere, rispettivamente, vincoli di capacità gestionale o maggiori complessità di implementazione.

#### 4.4.2 Effetti sulla produzione e composizione dei rifiuti

Andando invece ad analizzare gli effetti dell'introduzione aggiuntiva della tariffazione puntuale, i risultati mostrano che la TARIP introduce un effetto aggiuntivo rispetto alla sola misurazione, amplificando gli effetti osservati sulle performance ambientali. In particolare, l'adozione della sola misurazione puntuale è associata a un aumento della percentuale di raccolta differenziata pari a 1,54 punti percentuali (colonna (1)). Il coefficiente associato alla TARIP indica invece un aumento aggiuntivo di 7,59 punti percentuali rispetto alla sola misurazione (colonna (1)); ne consegue che l'aumento complessivo associato a MP+TARIP rispetto ai comuni senza strumenti è pari a 9,13 punti percentuali. Questo forte incremento suggerisce che il segnale economico associato alla tariffazione puntuale rafforzi in maniera sostanziale gli effetti informativi della misurazione, incentivando comportamenti più virtuosi nella separazione dei rifiuti. Parallelamente, si osserva una riduzione marcata dell'indifferenziato. In queste specificazioni, il coefficiente TARIP rappresenta la riduzione aggiuntiva rispetto alla sola misurazione: le tonnellate di indifferenziato  $\ln(\text{indiff\_ton})$  diminuiscono di circa il 28,8% in più rispetto ai comuni con sola MP (colonna (2)), mentre la sola MP è associata a una riduzione di circa il 19,3%. Nel complesso, l'effetto totale è pari a circa il 42,6% in meno. Un risultato analogo emerge in termini pro capite: la TARIP comporta una riduzione aggiuntiva di circa il 30,0% (colonna (3)), per un effetto complessivo di circa il 43,5% rispetto ai comuni senza strumenti puntuali. Per quanto riguarda la produzione complessiva

**Tabella 4.6:** Effetti della tariffazione puntuale (TARIP) sulle performance ambientali.

	Variabile dipendente		
	(1)	(2)	(3)
	RD (%)	ln(Indiff. ton)	ln(Indiff kg/pc)
Misurazione puntuale	1.54*** (0.54)	-0.215*** (0.026)	-0.214*** (0.031)
Tariffazione puntuale	7.59*** (1.23)	-0.340*** (0.055)	-0.357*** (0.058)
Effetti fissi comune	Yes	Yes	Yes
Effetti fissi anno	Yes	Yes	Yes
Osservazioni	4,348	4,348	4,348

*Note:* La tariffazione puntuale cattura l'effetto aggiuntivo rispetto alla sola misurazione. Gli errori standard clusterizzati a livello comunale sono riportati tra parentesi. \*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0.1$ . Per la percentuale di raccolta differenziata l'effetto è espresso in punti percentuali; per le variabili in log, le variazioni percentuali riportate nel testo sono calcolate come  $100 \cdot (\exp(\beta) - 1)$ , mentre l'effetto complessivo MP+TARIP è calcolato come  $100 \cdot (\exp(\beta_{MP} + \beta_{TARIP}) - 1)$ .

di rifiuti urbani, l'ordine di grandezza dell'effetto stimato rimane sostanzialmente stabile anche quando si considera l'introduzione della TARIP. In particolare, nella specificazione con tariffazione puntuale, la quantità totale prodotta  $\ln(\text{ru\_ton})$  si riduce di circa il 3,9%, un valore molto vicino a quello riscontrato nell'analisi che considera esclusivamente la misurazione. Un risultato analogo emerge anche in termini pro capite: la TARIP è associata a una diminuzione di circa il 4,0% della produzione totale  $\ln(\text{ru\_kg\_pc})$ , confermando la stabilità dell'effetto stimato rispetto alla metrica utilizzata. Nel complesso, i risultati suggeriscono che i sistemi puntuali siano associati a una moderata diminuzione della produzione totale di rifiuti, con effetti di entità comparabile nelle diverse specificazioni.

**Tabella 4.7:** Effetti della tariffazione puntuale (TARIP) sulle performance ambientali.

	Variabile dipendente	
	(1)	(2)
	$\ln(\text{RU ton})$	$\ln(\text{RU kg pc})$
Misurazione puntuale	-0.006 (0.012)	-0.033 (0.024)
Tariffazione puntuale	-0.040** (0.016)	-0.040** (0.016)
Effetti fissi comune	Yes	Yes
Effetti fissi anno	Yes	Yes
Osservazioni	4,348	4,279

Note: Come Tabella 4.6.

Nel complesso, i risultati suggeriscono che l'introduzione della tariffazione puntuale amplifichi gli effetti osservati per la sola misurazione, producendo benefici più evidenti sia in termini di aumento della raccolta differenziata sia di riduzione del rifiuto indifferenziato e dei quantitativi complessivi di rifiuti urbani.

### 4.4.3 Effetti economici della tariffazione puntuale

I risultati relativi agli effetti economici dell'introduzione della tariffazione puntuale sono riportati nella Tabella 4.8. Per quanto riguarda i costi complessivi del servizio (colonna (1)), la riduzione osservata rimane attribuibile principalmente alla misurazione puntuale: il coefficiente associato alla misurazione resta negativo e altamente significativo, mentre l'effetto aggiuntivo della TARIP non risulta statisticamente significativo. Guardando alle componenti di costo, emergono invece effetti differenziati. In particolare, nella colonna (3), la TARIP è associata a una diminuzione aggiuntiva significativa dei costi legati alla gestione dell'indifferenziato pari a circa il 46,5% rispetto ai comuni con sola misurazione. Nonostante il numero di osservazioni più contenuto per questa voce di costo, il coefficiente stimato risulta statisticamente significativo e indica una riduzione dei costi; tuttavia, l'interpretazione richiede cautela, poiché la minore numerosità è verosimilmente legata a una disponibilità parziale della variabile e potrebbe riflettere un sottoinsieme non pienamente rappresentativo dei comuni.

**Tabella 4.8:** Effetti della tariffazione puntuale (TARIP) sulle variabili economiche.

	Variabile dipendente		
	(1)	(2)	(3)
	ln(Costi totali)	ln(Spazzamento)	ln(Costi indiff.)
Misurazione puntuale	-0.275*** (0.051)	0.131** (0.061)	0.361 (0.228)
Tariffazione puntuale	-0.052 (0.066)	-0.248*** (0.067)	-0.625** (0.262)
Effetti fissi comune	Yes	Yes	Yes
Effetti fissi anno	Yes	Yes	Yes
Osservazioni	3,815	3,372	1,429

*Note:* Come Tabella 4.6.

Inoltre, per la componente di spazzamento emerge un effetto aggiuntivo della TARIP negativo e statisticamente significativo. Un'interpretazione plausibile è

che, nella fase di avvio del sistema di tracciamento, si verifichi una riallocazione delle attività operative e un rafforzamento dei controlli sul territorio, con effetti temporanei sui costi di spazzamento.

## **4.5 Discussione complessiva dei risultati**

Questa sezione propone una lettura integrata dei risultati, mettendo a confronto l'evidenza descrittiva a livello aggregato con le stime econometriche. Un primo elemento centrale riguarda l'andamento della percentuale di raccolta differenziata. Già a livello aggregato, entrambe le province mostrano un miglioramento nel periodo 2016–2023: Bergamo presenta una crescita più regolare e continua, coerente con l'adozione più precoce dei sistemi di misurazione, mentre Lecco evidenzia un'accelerazione più marcata negli anni più recenti, in corrispondenza della progressiva estensione del tracciamento del rifiuto residuo. L'analisi econometrica conferma e chiarisce questa dinamica: la sola misurazione puntuale produce un incremento statisticamente significativo ma di entità contenuta della quota di raccolta differenziata, mentre l'introduzione della tariffazione puntuale amplifica in modo sostanziale tale effetto. In particolare, l'impatto stimato della TARIP sulla percentuale di raccolta differenziata risulta nettamente superiore rispetto a quello associato alla sola misurazione. Nel complesso, i risultati suggeriscono che la misurazione attraverso informazione, controllo e maggiore consapevolezza di essere monitorati può indurre comportamenti più virtuosi; la tariffazione puntuale, invece, introduce un segnale di prezzo esplicito che rafforza l'incentivo a ridurre il rifiuto residuo e a differenziare correttamente. Ne consegue che, per massimizzare le performance di raccolta differenziata, l'innovazione tecnologica risulta più efficace quando è accompagnata da un incentivo economico diretto. Un secondo risultato di particolare rilievo riguarda la marcata riduzione del rifiuto urbano indifferenziato. Tale dinamica emerge già dall'analisi descrittiva a livello aggregato, che mostra un andamento chiaramente decrescente in entrambe le province analizzate. In particolare, la provincia di Bergamo presenta livelli mediamente più contenuti e una riduzione più regolare nel tempo, mentre nella provincia di Lecco il calo risulta più accentuato negli anni successivi all'introduzione del tracciamento del rifiuto residuo. L'analisi econometrica conferma e rafforza questa evidenza, mostrando

come sia la misurazione puntuale sia la tariffazione puntuale contribuiscano in modo statisticamente significativo alla contrazione delle quantità di rifiuto secco residuo. Gli effetti stimati risultano particolarmente pronunciati nel caso della TARIP, che determina una riduzione delle quantità di rifiuto indifferenziato superiore al 30%. La significatività degli effetti sia in termini assoluti sia pro capite rafforza l'interpretazione secondo cui la riduzione osservata non sia riconducibile a semplici effetti demografici o compositivi, ma rifletta un cambiamento nei comportamenti individuali di conferimento. Nel complesso, i risultati indicano che l'introduzione di meccanismi di misurazione e, ancor più, di tariffazione puntuale incide efficacemente sulle modalità di smaltimento dei rifiuti, favorendo una più corretta separazione dei materiali e una riduzione strutturale del rifiuto residuo. Per quanto riguarda la produzione complessiva di rifiuti urbani, i risultati mostrano una riduzione statisticamente significativa sia a seguito dell'introduzione della misurazione puntuale sia, in misura leggermente più marcata, con l'adozione della tariffazione puntuale. Sebbene l'entità di tali riduzioni sia più contenuta rispetto a quella osservata per il rifiuto indifferenziato, esse suggeriscono che questi strumenti non agiscono esclusivamente sulla composizione dei flussi, ma contribuiscono anche a una moderata riduzione della quantità totale di rifiuti prodotti, suggerendo un aumento dell'attenzione e della consapevolezza degli utenti rispetto alla produzione di rifiuti

Un ultimo elemento da considerare è l'assenza di effetti statisticamente significativi sulle entrate tariffarie e sulla tariffa pro capite. Sebbene i risultati suggeriscano miglioramenti in termini di efficienza operativa e di performance ambientale, tali benefici non sembrano tradursi in una variazione osservabile del prelievo tariffario nel periodo considerato. Questo aspetto potrebbe riflettere la presenza di rigidità istituzionali, regolatorie o temporali che ritardano l'aggiustamento delle tariffe rispetto ai cambiamenti nei costi e nei comportamenti degli utenti.

## **4.6 Limiti dell'analisi**

Come ogni analisi empirica basata su dati amministrativi e osservazionali, il presente lavoro presenta alcuni limiti che è opportuno esplicitare per una corretta

interpretazione dei risultati. Un primo limite rilevante riguarda la difficoltà di reperimento dei dati relativi alle date di attivazione dei sistemi di misurazione puntuale e di tariffazione puntuale. Tale difficoltà è riconducibile alla complessa articolazione istituzionale del servizio di gestione dei rifiuti, in cui, nella maggior parte dei casi, la raccolta dei rifiuti è affidata a un soggetto gestore distinto dall'amministrazione comunale, responsabile invece dell'introduzione del prelievo tariffario. In questo contesto, le società di gestione dispongono di informazioni dettagliate sull'introduzione dei sistemi di misurazione puntuale, mentre le amministrazioni comunali detengono i dati relativi all'adozione della tariffazione e la tipologia. Tuttavia, tali informazioni non risultano sempre disponibili in modo sistematico attraverso fonti online o banche dati ufficiali. Di conseguenza, per ricostruire correttamente le tempistiche di adozione dei due strumenti, è stato spesso necessario contattare singolarmente sia i gestori del servizio sia le amministrazioni comunali. Questo ha reso il processo di raccolta dei dati particolarmente oneroso, soprattutto nei casi in cui l'introduzione dei sistemi è avvenuta in modo graduale. Un secondo limite riguarda la disponibilità incompleta dei dati economici, in particolare dei costi associati alla gestione del rifiuto indifferenziato. A partire dal 2021, tali informazioni non risultano più disponibili per i comuni nei database ISPRA, generando una discontinuità nella serie informativa, e non è stato possibile recuperarle attraverso contatti diretti con l'ente. Questa mancanza ha limitato la possibilità di analizzare in modo più approfondito l'impatto della misurazione e della tariffazione puntuale su specifiche componenti di costo del servizio. Dal punto di vista econometrico, alcune specificazioni possono risentire di collinearità tra regressori di policy, in particolare quando misurazione e tariffazione vengono introdotte in anni ravvicinati, e dell'inclusione di molteplici effetti fissi; ciò può ridurre la precisione delle stime o, in alcuni casi, portare all'esclusione automatica di variabili. In altri casi, la disponibilità limitata delle osservazioni, soprattutto per le variabili espresse in termini pro capite, ha comportato una riduzione del campione utilizzabile, con una conseguente diminuzione della potenza statistica delle stime. Infine, un ulteriore limite dell'analisi riguarda la non casualità dell'adozione della tariffazione puntuale. I comuni che introducono sistemi puntuali non rappresentano infatti un gruppo eterogeneo o casuale, ma tendono a caratterizzarsi per livelli di performance ambientale già elevati. Si tratta spesso di amministrazioni che, prima dell'introduzione del sistema,

presentavano tassi di raccolta differenziata superiori alla media e disponevano di sistemi di raccolta porta-a-porta già pienamente consolidati. In generale, questi territori mostrano condizioni socio-economiche più favorevoli e una maggiore sensibilità politica e amministrativa verso le tematiche ambientali. Di conseguenza, una parte delle differenze osservate tra i comuni con sistemi *Pay-as-you-throw* e quelli che non li adottano potrebbe non essere attribuibile direttamente alla tariffazione puntuale, ma piuttosto a caratteristiche preesistenti dei comuni che scelgono di adottarla. Pertanto, non è possibile escludere che tali comuni sarebbero stati in grado di migliorare ulteriormente la propria gestione dei rifiuti anche in assenza dei sistemi di tracciamento. Questo introduce un potenziale bias di selezione, che limita la possibilità di attribuire pienamente ai sistemi puntuali gli effetti osservati e suggerisce cautela nell'interpretazione causale dei risultati.

## Capitolo 5

# Conclusioni

### 5.1 Risposte alle domande di ricerca e verifica delle ipotesi

I risultati dell'analisi empirica consentono di fornire una risposta articolata alle domande di ricerca poste all'inizio del lavoro, distinguendo in modo chiaro gli effetti della sola misurazione puntuale da quelli aggiuntivi della tariffazione puntuale. In primo luogo, con riferimento alla produzione e alla composizione dei rifiuti urbani, l'evidenza empirica mostra che l'introduzione della misurazione puntuale del rifiuto secco residuo è associata a un miglioramento significativo delle performance ambientali. In particolare, si osserva un aumento della percentuale di raccolta differenziata e, soprattutto, una marcata riduzione del rifiuto indifferenziato, sia in termini assoluti sia pro capite. La significatività degli effetti pro capite suggerisce che tali risultati riflettano un cambiamento nei comportamenti individuali di conferimento. Al contrario, la produzione complessiva di rifiuti pro capite non presenta una tendenza chiaramente decrescente, indicando che l'effetto principale della misurazione puntuale riguarda la composizione dei rifiuti più che una riduzione strutturale dei livelli di consumo. Per quanto riguarda la dimensione economica, i risultati indicano che la sola introduzione della misurazione puntuale è associata a una riduzione dei costi totali del servizio di gestione dei rifiuti urbani. Non emergono invece effetti statisticamente significativi sulle principali componenti di costo operativo. Inoltre, non si osservano variazioni significative nelle entrate

tariffarie complessive né in quelle pro capite, suggerendo la presenza di una certa rigidità istituzionale e temporale nel trasferimento dei risparmi di costo alle tariffe applicate agli utenti. L'introduzione della tariffazione puntuale produce effetti aggiuntivi e più marcati rispetto alla sola misurazione. In particolare, amplifica in modo sostanziale l'impatto sulla raccolta differenziata e sulla riduzione del rifiuto indifferenziato, confermando il ruolo centrale del segnale di prezzo nel rafforzare gli incentivi al corretto conferimento dei rifiuti. Gli effetti stimati risultano più contenuti sulla produzione complessiva di rifiuti, coerentemente con quanto osservato nell'analisi aggregata, ma suggeriscono comunque una moderata riduzione delle quantità totali a livello comunale. Nel complesso, i risultati indicano che misurazione puntuale e tariffazione puntuale operano come strumenti complementari. La misurazione introduce informazione e controllo, incidendo sui comportamenti degli utenti e sulla qualità della separazione dei rifiuti; la tariffazione puntuale rafforza tali effetti attraverso un incentivo economico diretto, rendendo più efficace e duraturo il miglioramento delle performance ambientali. Le evidenze empiriche confermano quindi l'ipotesi secondo cui la misurazione puntuale produce effetti positivi prevalentemente sulla composizione dei rifiuti, mentre la piena realizzazione degli obiettivi ambientali ed economici richiede l'introduzione della tariffazione puntuale, che rafforza e rende persistenti gli incentivi al corretto conferimento.

## **5.2 Limiti del sistema puntuale**

### **5.2.1 Comportamenti opportunistici e inquinamento delle frazioni**

Un limite rilevante dell'introduzione della tariffazione puntuale riguarda la possibilità che gli utenti adottino comportamenti opportunistici. Poiché la componente variabile della tariffa è calcolata in base alla quantità di rifiuto indifferenziato conferito, i cittadini sono incentivati a ridurre questa frazione; tuttavia, tale meccanismo può generare effetti distorsivi non immediatamente rilevabili attraverso i soli dati quantitativi. In particolare, nel tentativo di diminuire il numero di conferimenti del rifiuto residuo, alcuni utenti possono inserire impropriamente materiali non riciclabili nelle diverse frazioni della raccolta differenziata. Questo

fenomeno, conosciuto come inquinamento delle frazioni, deriva sia da scelte consapevoli orientate a ridurre il peso tariffario, sia dalla persistente disinformazione circa le corrette modalità di separazione. L'inquinamento determina un peggioramento della qualità dei materiali raccolti e aumenta la quota di scarti che gli impianti devono rimuovere (ad esempio carta unta nella carta, plastiche non riciclabili nella plastica o impurità nell'organico). Di conseguenza, la riduzione dell'indifferenziato osservata nei Comuni che adottano la tariffazione puntuale può risultare, almeno in parte, "solo apparente", riflettendo uno spostamento improprio verso le raccolte differenziate più che un reale miglioramento delle pratiche di conferimento. Tale dinamica compromette sia la qualità delle frazioni destinate al riciclo e sia l'affidabilità dell'interpretazione dei risultati. Analogamente, anche un aumento della percentuale di raccolta differenziata non può essere assunto come indicatore univoco di miglioramento; livelli elevati infatti rappresentano una condizione necessaria ma non sufficiente al conseguimento degli obiettivi di riciclo europei: oltre alla quantità, è infatti essenziale garantire la purezza delle frazioni raccolte. Se la riduzione dell'indifferenziato deriva da trasferimenti impropri verso le raccolte differenziate, il sistema può sperimentare un aumento dei costi di selezione, una crescita degli scarti e una diminuzione dei corrispettivi riconosciuti dai consorzi di filiera.

La centralità della qualità è stata recentemente riconosciuta anche dal legislatore. Con la Delibera 387/2023/R/rif, ARERA ha introdotto un nuovo insieme di indicatori obbligatori per la misurazione dell'efficienza e della qualità della raccolta differenziata, operativo dal 1° gennaio 2024. Tra essi, il macro-indicatore R1 valuta la capacità del sistema di massimizzare la quantità di rifiuti effettivamente valorizzabili e i relativi ricavi, mentre ulteriori indicatori misurano le perdite di materiale e il livello di impurità delle diverse frazioni, con particolare attenzione all'organico. Questi strumenti regolatori sottolineano che non è sufficiente "differenziare tanto", occorre anche "differenziare bene". Alla luce di tali elementi, risulta evidente che la tariffazione puntuale debba essere accompagnata da misure complementari per prevenire effetti indesiderati. Un primo pilastro è l'informazione rivolta a famiglie e imprese, con particolare attenzione alle aree potenzialmente più esposte a comportamenti scorretti: le utenze vengono dotate di guide per la raccolta differenziata e sono previste iniziative dedicate, come assemblee pubbliche e sopralluoghi presso aziende, condomini o enti, per chiarire le modalità di conferimento. A ciò si affianca

un monitoraggio continuo basato sui dati, che combina il controllo del peso e della qualità del materiale conferito con l'analisi dell'andamento degli svuotamenti per le diverse categorie di utenza. Questa lettura integrata consente di avere un quadro complessivo per ciascun comune e di individuare tempestivamente eventuali anomalie o peggioramenti qualitativi, orientando interventi correttivi mirati. In questo senso, controlli adeguati, campagne informative e strumenti di supporto agli utenti (ad esempio applicazioni digitali o servizi di assistenza) sono essenziali affinché la riduzione del rifiuto residuo avvenga correttamente e non a scapito della qualità delle frazioni riciclabili.

### **5.2.2 Limiti strutturali della tariffazione puntuale**

Un elemento critico ricorrente nei sistemi di tariffazione puntuale riguarda la corretta definizione degli svuotamenti minimi obbligatori e il peso ancora significativo della quota fissa all'interno della tariffa. La logica della tariffazione puntuale prevede che la quota variabile sia calcolata in funzione della quantità di rifiuto indifferenziato effettivamente conferita; tuttavia, per garantire la copertura dei costi incomprimibili del servizio, molti Comuni introducono una soglia minima di svuotamenti comunque addebitata agli utenti. Se tale soglia è contenuta, il meccanismo resta efficace, poiché consente di differenziare in modo significativo la tariffa tra utenti con comportamenti diversi. Al contrario, quando il numero minimo è elevato, la componente variabile legata ai conferimenti effettivi diventa marginale e le differenze tariffarie tendono ad appiattirsi, riducendo il carattere incentivante del sistema. In questi casi la TARIP rischia di assumere un carattere solo formalmente puntuale, avvicinandosi nella sostanza a una logica presuntiva. Un secondo limite strutturale è rappresentato dalla componente fissa della tariffa, necessaria per coprire costi indivisibili del servizio quali lo spazzamento stradale, la gestione delle isole ecologiche, la pulizia del suolo pubblico, i costi generali del gestore e gli investimenti nel sistema di misurazione. Poiché tali costi non dipendono dalla quantità di rifiuto prodotta dalla singola utenza, anche nei sistemi puntuali la quota fissa rappresenta una parte rilevante dell'importo totale, riducendo ulteriormente la differenziazione tariffaria tra utenti ad alta e bassa produzione. La combinazione di una quota fissa elevata e di soglie minime troppo alte indebolisce quindi l'incentivo economico alla riduzione

dei rifiuti, può limitare i risultati ambientali nel medio periodo e aumentare il rischio di contestazioni da parte degli utenti. Perché la tariffazione puntuale esprima il suo pieno potenziale è pertanto fondamentale definire soglie minime realistiche e contenute e garantire un peso adeguato della quota variabile.

### **5.2.3 Mancanza di omogeneità tra i Comuni**

Infine, un ultimo elemento di rilievo riguarda la grande eterogeneità che caratterizza i sistemi di gestione dei rifiuti tra Comuni diversi, anche all'interno di una stessa regione. La normativa vigente lascia infatti agli enti locali un'ampia discrezionalità nell'impostare il proprio modello tariffario: il comma 668 della legge 147/2013, pur disciplinando la possibilità di applicare una tariffa corrispettiva in presenza di sistemi di misurazione puntuale, rimette molti aspetti applicativi al regolamento comunale e non definisce criteri operativi uniformi per la struttura della tariffa (quota fissa e variabile), per le modalità di misurazione e per l'eventuale previsione di conferimenti minimi. Ne deriva che Comuni che adottano la tariffazione puntuale possono operare con metodologie molto diverse nell'attribuzione dei costi agli utenti, anche in presenza di condizioni territoriali simili. Oltre alle differenze tariffarie, esistono significative eterogeneità anche nelle modalità operative di raccolta differenziata adottate dai Comuni. La scelta delle frazioni da raccogliere porta a porta, la tipologia dei contenitori, i colori utilizzati, le frequenze settimanali del servizio e perfino le regole di conferimento possono variare sensibilmente tra territori contigui. Questa mancanza di uniformità genera difficoltà non trascurabili per gli utenti: i cittadini o i turisti che si spostano tra i diversi Comuni si trovano spesso a dover interpretare sistemi di raccolta diversi, con conseguente potenziale rischio di errori, conferimenti impropri e aumento dell'"inquinamento" delle frazioni riciclabili. Tale variabilità rappresenta un ulteriore elemento di complessità nella valutazione degli effetti della tariffazione puntuale, poiché la qualità dei conferimenti dipende non solo dal sistema tariffario, ma anche dal grado di chiarezza e di omogeneità delle regole locali che disciplinano la raccolta.

Se il quadro viene ampliato al contesto nazionale, la mancanza di uniformità è ancora più evidente: la diffusione della tariffazione puntuale è concentrata in maniera predominante nelle regioni del Nord Italia, mentre nel Centro e soprattutto nel

Sud l'adozione rimane più limitata, come mostrato nella Figura 1.8. È importante osservare che la diffusione della tariffazione puntuale non segue un chiaro criterio regionale: l'espansione del sistema avviene infatti per aree sub-regionali e gruppi di Comuni, spesso legati allo stesso gestore o alla stessa organizzazione d'ambito. Ne derivano "macchie territoriali" di adozione, anche all'interno delle stesse regioni del Nord, che rendono il quadro ancora più frammentato e difficile da interpretare su scala amministrativa.

Questa disomogeneità territoriale non rappresenta esclusivamente un'eredità storica delle prime fasi di diffusione della tariffazione puntuale, ma continua a caratterizzare anche i processi di adozione più recenti. Questo divario territoriale non riguarda solo la fotografia al 2022, ma si conferma anche nelle attivazioni più recenti (Figura 1.9).

Mentre in molte regioni del Nord gli Enti di governo d'ambito (ATO/EGATO) risultano pienamente operativi e svolgono un ruolo centrale di coordinamento sovracomunale nella pianificazione del servizio, nel Mezzogiorno e nelle Isole tali organismi appaiono spesso solo formalmente istituiti o non ancora pienamente funzionanti. Come evidenziato dal IV Rapporto IFEL sulla diffusione della tariffazione puntuale in Italia, la presenza di gestioni di area vasta rappresenta un fattore determinante per l'adozione di sistemi tariffari evoluti, poiché consente di armonizzare i modelli organizzativi, sostenere gli investimenti tecnologici e accompagnare i Comuni nella fase di transizione verso la misurazione puntuale [8].

L'assenza di un ente di governo effettivo rende invece più complesso garantire standard omogenei di qualità del servizio, programmare gli investimenti impiantistici e definire criteri tariffari coerenti su scala territoriale. In tali contesti, l'introduzione della tariffazione puntuale richiede ai singoli Comuni di affrontare individualmente un cambiamento organizzativo e tecnico particolarmente oneroso, spesso in assenza di adeguate competenze amministrative e di supporti informativi centralizzati. La definizione del modello tariffario, la scelta delle tecnologie di misurazione e la gestione dei dati ricadono così interamente sulle amministrazioni locali, aumentando i costi di transizione e il rischio di inefficienze. Le evidenze IFEL mostrano inoltre come la diffusione della tariffazione puntuale avvenga prevalentemente per estensione di progetti già avviati all'interno di ambiti territoriali strutturati, dove la presenza di esperienze pregresse genera effetti dimostrativi e riduce i costi informativi e

organizzativi dell'adozione. Al contrario, nei territori privi di poli di diffusione e di casi pionieri in grado di fungere da riferimento operativo, l'introduzione della tariffazione puntuale risulta assai più rara. Questa asimmetria contribuisce a spiegare la persistente concentrazione delle nuove adozioni nel Nord Italia e la marginalità del Sud e delle Isole, suggerendo che il divario territoriale non sia riconducibile a un semplice ritardo temporale, ma alla mancanza di meccanismi di diffusione e di capacità istituzionali in grado di innescare dinamiche cumulative di adozione. In questo quadro, è importante rilevare che, sebbene ARERA ([13]) abbia avviato con il TQRIF un processo di progressiva standardizzazione della qualità del servizio a livello nazionale, tale armonizzazione non è ancora pienamente compiuta. Il Testo unico introduce infatti per la prima volta obblighi minimi uniformi di qualità tecnica e contrattuale, ma lascia tuttora ampi margini di eterogeneità nelle modalità operative e tariffarie tra i diversi territori. Le differenze osservate nel caso lombardo confermano come la varietà dei modelli gestionali condizioni la valutazione degli effetti della tariffazione puntuale: il percorso di convergenza avviato da ARERA rappresenta un passo significativo verso una maggiore omogeneità, ma non è ancora sufficiente, allo stato attuale, a eliminare le disparità operative tra gestioni anche contigue.

### **5.3 Prossimi passi per la tariffazione puntuale in Italia**

Nel contesto italiano analizzato nella presente tesi, la diffusione della tariffazione puntuale risulta ancora fortemente eterogenea sul territorio nazionale. Tale frammentazione evidenzia la necessità di un intervento regolatorio volto a rafforzare la standardizzazione della qualità del servizio di gestione dei rifiuti urbani e a rendere più omogenei e confrontabili i criteri di determinazione delle tariffe applicate agli utenti. In questa prospettiva, ARERA ha introdotto in primo luogo il TQRIF, presentato nei capitoli precedenti, e ha successivamente adottato il Testo Integrato Corrispettivi del Servizio di Gestione dei Rifiuti (TICSER) con la delibera n. 396/2025/R/rif. Le disposizioni del TICSER definiscono il nuovo quadro di riferimento per l'articolazione tariffaria del settore e dovranno essere

applicate obbligatoriamente a partire dal 1° gennaio 2028, riguardando tutte le gestioni: sia quelle in regime tributario di prelievo (TARI presuntiva e TARI puntuale) sia quelle in tariffa corrispettiva. La riforma prevede l'adozione di una struttura tariffaria pentanomia, articolata in cinque componenti (Decoro urbano, Accesso al servizio, Raccolta e trasporto, Trattamento e recupero, Trattamento e smaltimento), collegata alle componenti di costo del Piano Economico Finanziario del servizio rifiuti (PEF) e concepita per aumentare trasparenza e leggibilità della tariffa anche nella comunicazione all'utenza. Il TICSER interviene inoltre sui criteri di riparto delle entrate tra utenze domestiche e non domestiche, con l'obiettivo di rendere più coerente l'allocazione dei costi e ridurre l'eterogeneità applicativa tra territori. L'introduzione del TICSER mira infine a rafforzare il legame tra i comportamenti di conferimento e l'onere tariffario sostenuto dagli utenti, in linea con il principio del *Pay-as-you-throw*, incentivando la riduzione del rifiuto residuo e il miglioramento delle performance di raccolta differenziata. Al tempo stesso, l'efficacia della riforma dipenderà dalla capacità di implementazione da parte di Comuni e gestori, poiché l'adozione del nuovo impianto richiede adeguamenti organizzativi, informatici e gestionali rilevanti per tradurre la standardizzazione normativa in incentivi effettivamente percepibili e in risultati stabili nel tempo.

## 5.4 Prospettive di ricerca futura

Un aspetto non direttamente osservabile con i dati utilizzati, ma rilevante ai fini della valutazione complessiva delle politiche dei sistemi di tracciamento, riguarda l'eventuale incremento di comportamenti opportunistici da parte degli utenti finali. Futuri studi potrebbero approfondire questo aspetto integrando dati ambientali con informazioni geospaziali o segnalazioni locali, per stimare in modo più accurato l'incidenza di tali fenomeni. Un ulteriore filone di indagine riguarda la sostenibilità economica di lungo periodo dei sistemi di misurazione e tariffazione puntuale. L'analisi sviluppata nel presente lavoro, limitata dalla disponibilità di dati storici, consente di osservare prevalentemente la fase di transizione all'introduzione del sistema, nella quale emerge una ricomposizione delle principali voci di costo, con un incremento delle componenti legate all'operatività del servizio e alla gestione delle informazioni. Tuttavia, tali evidenze non permettono di valutare se queste

dinamiche si mantengano nel tempo o se tendano a modificarsi una volta che il sistema abbia raggiunto una fase di funzionamento a regime. Studi futuri, basati su serie storiche più estese e su orizzonti temporali più lunghi, potrebbero analizzare l'evoluzione del bilancio economico complessivo del servizio, verificando se i risparmi derivanti dalla riduzione dei conferimenti a smaltimento e dalla minore pressione fiscale sul rifiuto residuo siano in grado di compensare strutturalmente i maggiori costi operativi associati alla gestione e alla manutenzione dell'infrastruttura tecnologica necessaria alla misurazione puntuale, quali dispositivi RFID, sistemi hardware e software gestionali.

In particolare, sarebbe rilevante indagare se, una volta esauriti gli effetti iniziali legati agli incentivi all'investimento e al cosiddetto "effetto novità" sui comportamenti degli utenti, il modello rimanga economicamente sostenibile nel medio-lungo periodo o se, al contrario, i costi di esercizio del sistema di misurazione tendano progressivamente a erodere i benefici finanziari ottenuti, rendendo necessari aggiustamenti tariffari strutturali. Un'analisi di questo tipo contribuirebbe a valutare non solo l'efficacia ambientale, ma anche la solidità economica del modello nel tempo.

# Bibliografia

- [3] OECD. *Extended Producer Responsibility and the Impact of Waste Management Policies*. OECD Publishing, Paris. 2016. URL: <https://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/extended-producer-responsibility.htm> (cit. alle pp. 4, 29, 30).
- [4] Fondazione Utilitatis. *Green Book 2024 – I dati sulla gestione dei rifiuti urbani in Italia*. 2024. URL: <https://www.utilitatis.org/pubblicazioni/green-book-2024> (cit. alle pp. 4, 5).
- [13] Cittadinanzattiva. *Approccio asimmetrico e Schemi regolatori ARERA – Presentazione TQRIF*. 2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=nEy7a8MUGFg> (cit. alle pp. 10, 11, 82).
- [18] Gary S. Becker. «Crime and Punishment: An Economic Approach». In: *Journal of Political Economy* 76.2 (1968), pp. 169–217 (cit. a p. 27).
- [19] Henrik Jacobsen Kleven, Martin B. Knudsen, Claus Thustrup Kreiner, Søren Pedersen e Emmanuel Saez. «Unwilling or Unable to Cheat? Evidence from a Tax Audit Experiment in Denmark». In: *Econometrica* 79.3 (2011), pp. 651–692. URL: <https://eml.berkeley.edu/~saez/kleven-knudsen-kreiner-pedersen-saezEMA11taxaudit.pdf> (cit. a p. 28).
- [20] Esther Dufflo, Michael Greenstone, Rohini Pande e Nicholas Ryan. «Truth-Telling by Third-Party Auditors and the Response of Polluting Firms: Experimental Evidence from India». In: *The Quarterly Journal of Economics* 128.4 (2013), pp. 1499–1545. URL: [https://economics.mit.edu/sites/default/files/2022-08/truth%20telling%20\(1\).pdf](https://economics.mit.edu/sites/default/files/2022-08/truth%20telling%20(1).pdf) (cit. alle pp. 28, 29).

- [21] Raj Chetty, Adam Looney e Kory Kroft. «Salience and Taxation: Theory and Evidence». In: *American Economic Review* 99.4 (2009), pp. 1145–1177 (cit. a p. 29).
- [22] Jean-Jacques Laffont e Jean Tirole. *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. Cambridge, MA: MIT Press, 1993 (cit. a p. 30).
- [23] Bengt Holmström. «Moral Hazard and Observability». In: *The Bell Journal of Economics* 10.1 (1979), pp. 74–91 (cit. a p. 30).
- [24] Yassine Lakhout. «Internet of Things (IoT) Integration in Waste Management: Revolutionizing Recycling with the Internet of Waste». In: *Instrumentation and Control* (2025) (cit. a p. 30).
- [25] Michael Greenstone, Guojun He, Ruixue Jia e Tong Liu. «Can Technology Solve the Principal–Agent Problem? Evidence from China’s War on Air Pollution». In: *American Economic Review: Insights* 2.4 (2020), pp. 425–440 (cit. a p. 30).
- [26] Munqith A. Zyoud e Sari H. Zyoud. «Smart Waste Management and the Internet of Things: A Systematic Review». In: *Urban Science* 9.1 (2024), p. 16 (cit. a p. 31).
- [27] Don Fullerton e Thomas C. Kinnaman. «Household Responses to Pricing Garbage by the Bag». In: *The American Economic Review* 86.4 (1996), pp. 971–984. URL: <https://scispace.com/pdf/household-responses-to-pricing-garbage-by-the-bag-3pw3riax55.pdf> (cit. alle pp. 31, 32).
- [28] Elbert Dijkgraaf e Raymond H. J. M. Gradus. «Waste Management in the Netherlands: Achievements and Challenges». In: *Waste Management* 100 (2019), pp. 227–235. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.09.039. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.039> (cit. a p. 32).
- [29] Raymond H. J. M. Gradus e Elbert Dijkgraaf. «Poorer and Less Politically Fragmented Dutch Municipalities Take Tighter Waste Reduction Decisions». In: *Waste Management* 166 (2023), pp. 125–136. DOI: 10.1016/j.wasman.2023.02.004. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.004> (cit. a p. 32).

- [35] Andrew Goodman-Bacon. «Difference-in-Differences with Variation in Treatment Timing». In: *Journal of Public Economics* 203 (2021), pp. 104–142 (cit. alle pp. 55, 56).

# Sitografia

- [1] European Commission. *Directive (EU) 2018/851 amending Directive 2008/98/EC on waste*. 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018L0851> (cit. a p. 3).
- [2] Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica. *RENTRI – Registro Elettronico Nazionale per la Tracciabilità dei Rifiuti*. 2023. URL: <https://www.rentri.gov.it/> (cit. alle pp. 3, 9).
- [5] Repubblica Italiana. *Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - Norme in materia ambientale*. 2006. URL: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2006-04-03;152> (cit. a p. 5).
- [6] Regione Lombardia. *Legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 - Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale*. 2003. URL: <https://normelombardia.consiglio.regione.lombardia.it/NormeLombardia/Accessibile/main.aspx?iddoc=lr002003121200026> (cit. a p. 5).
- [7] Unione Europea. *Direttiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio*. 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32018L0852> (cit. a p. 6).
- [8] Fondazione IFEL. *La tariffazione puntuale in Italia*. 2024. URL: <https://www.fondazioneifel.it/documenti-e-pubblicazioni/item/11757-la-tariffazione-puntuale-in-italia> (cit. alle pp. 7, 18, 19, 21, 81).
- [9] Fondazione IFEL. *Tariffazione puntuale dei rifiuti: quadro normativo, scelte applicative e best practice (slide Giacetti & Donadio, 14 marzo 2018)*. 2018.

- URL: [https://www.fondazioneifel.it/ifelinforma-news/item/download/2487\\_3c67ab974c54c1427360d739a9c2286a](https://www.fondazioneifel.it/ifelinforma-news/item/download/2487_3c67ab974c54c1427360d739a9c2286a) (cit. a p. 8).
- [10] ARERA. *Regolazione del servizio di gestione dei rifiuti urbani*. 2024. URL: <https://www.arera.it/it/settori/rifiuti.htm> (cit. a p. 9).
- [11] ARERA. *Metodo Tariffario Rifiuti (MTR-2) per il periodo 2022–2025*. 2021. URL: <https://www.arera.it/it/docs/21/363-21.htm> (cit. a p. 9).
- [12] ISPRA. *Catasto Nazionale dei Rifiuti – ISPRA*. 2024. URL: <https://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/> (cit. alle pp. 9, 14–17).
- [14] Provincia di Bergamo. *Tariffazione puntuale dei rifiuti: diffusione e risultati nella provincia di Bergamo*. 2024. URL: [https://www.provincia.bergamo.it/cnvpbgrm/po/mostra\\_news.php?id=2396&area=H](https://www.provincia.bergamo.it/cnvpbgrm/po/mostra_news.php?id=2396&area=H) (cit. alle pp. 22, 23).
- [15] ARS Ambiente. *A Bergamo il sistema KAYT (Know As You Throw)*. 2021. URL: <https://www.arsambiente.it/a-bergamo-kayt-2/> (cit. a p. 24).
- [16] Silea S.p.A. *Distributori sacchi per la raccolta differenziata*. 2021. URL: <https://www.sileaspa.it/raccolte-differenziate/distributori-sacchi/> (cit. a p. 25).
- [17] Comune di Lecco. *Posizionati i primi nuovi 17 smart bin sul lungolago di Lecco*. 2025. URL: <https://www.comune.lecco.it/Novita/Comunicati/Posizionati-i-primi-nuovi-17-smart-bin-sul-lungolago> (cit. a p. 26).
- [30] SILEA S.p.A. *Progetto “Sacco Rosso” – Piano di attivazione della misurazione puntuale nei Comuni della provincia di Lecco*. Documento fornito su richiesta, novembre 2025. 2025 (cit. a p. 36).
- [31] Ingegneria dell’Ambiente. *Il Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lombardia: obiettivi e scenari al 2027*. 2022. URL: <https://www.ingegneriadellambiente.net/ojs/index.php/ida/article/view/417> (cit. a p. 42).
- [32] Silea S.p.A. *Silea e il sistema Lecco*. 2018. URL: <https://www.unpaeseperstarbene.it/wp-content/uploads/2018/12/Silea-e-il-sistema-Lecco.pdf> (cit. a p. 45).

- [33] Provincia di Lecco. *Produzione e gestione rifiuti urbani in provincia di Lecco nel 2018: aumentano rifiuti e percentuale di raccolta differenziata*. Comunicato stampa del 22 novembre 2019. 2019. URL: <https://www.provincia.lecco.it> (cit. a p. 45).
- [34] LeccoToday. *Lecco, stilata la nuova mappa per la raccolta rifiuti*. 2018. URL: <https://www.leccotoday.it/cronaca/lecco-mappa-rifiuti.html> (cit. a p. 45).