



# LA CITTÀ CHE PENSA . INTELLIGENZA ARTIFICIALE E NUOVI MODELLI DI VALORE NEI SERVIZI ESSENZIALI, IL CASO SARIM

## Intelligenza distribuita e valore operativo: il nuovo paradigma dei servizi essenziali urbani

### Sunto

Le città del futuro non produrranno più rifiuti, genereranno informazioni. Questa tesi esplora la rivoluzione manageriale ed economica prodotta da questa transizione tecnologica, in cui l'intelligenza artificiale trasforma il waste management da un servizio reattivo a una piattaforma predittiva e intelligente. Attraverso il caso pionieristico della Sarim di Enviro e del progetto SmartLeaf, si dimostra come i dati ambientali e urbani, un tempo semplici scarti, diventino oggi asset strategici fondamentali per l'efficienza, la sostenibilità e la redditività economica..

Giovanni Bardascino

[Indirizzo posta elettronica]

## SOMMARIO

PREMESSA .....	2
Capitolo 1 L'EVOLUZIONE ECONOMICA E TECNOLOGICA DEL WASTE MANAGEMENT .....	3
1.1 La gestione dei rifiuti come industria ad alta intensità di capitale .....	3
1.2 Costi, inefficienze e opportunità nel ciclo urbano dei rifiuti .....	4
1.3 Dal servizio al sistema intelligente, il rifiuto come asset informativo .....	4
Parte Ii QUADRO METODOLOGICO E MODELLO DI ANALISI.....	8
Capitolo 2 QUADRO METODOLOGICO E MODELLO DI ANALISI .....	8
2.1 Domande di ricerca e ipotesi operative .....	8
2.2 Impatti economici dell'adozione di sistemi AI-based .....	8
2.3 Framework "Waste Intelligence Value Chain", variabili e metriche economiche .....	9
Capitolo 3 IL CASO SARIM/ENVIRO E IL MODELLO SMARTLEAF .....	13
3.1 Sarim, contesto economico e filiera operativa.....	13
3.2 SmartLeaf, sensoristica avanzata, architettura hardware, AI edge, reti 4G/5G.....	14
3.3 KPI economici, riduzione OPEX, aumento efficienza e qualità percepita .....	16
CONCLUSIONI .....	21
Sintesi dei risultati.....	21
Implicazioni strategiche per imprese e pubbliche amministrazioni .....	21
Contributi scientifici e manageriali.....	21
Bibliografia.....	22

Viviamo in un momento storico in cui anche settori tradizionalmente statici come quello dell'igiene urbana sono coinvolti in una trasformazione radicale. Il valore non si misura più solo in tonnellate raccolte o chilometri percorsi, ma nella capacità di anticipare i bisogni, leggere segnali deboli e convertire i dati in valore strategico. In questo scenario, l'Intelligenza Artificiale non è solo una novità tecnica: rappresenta un cambio di paradigma che trasforma la Pubblica Amministrazione da reattiva a cognitiva, e il rifiuto da costo a dato utile e monetizzabile.

La presente tesi si colloca all'interno di questo nuovo approccio strategico, esplorando il ruolo dell'IA, della sensoristica e dei modelli predittivi nell'evoluzione dei servizi pubblici locali. Attraverso l'analisi del caso Sarim/Enviro, si indaga come queste tecnologie, se integrate con la struttura dei costi e con la strategia aziendale, possano generare un vantaggio competitivo reale, misurabile e replicabile. Il lavoro prende spunto dall'esperienza concreta maturata nel contesto della trasformazione gestionale e digitale di Sarim, azienda attiva nell'igiene urbana in Campania e Lazio. L'osservazione diretta ha mostrato come l'introduzione di tecnologie cognitive – prima tra tutte la piattaforma proprietaria Enviro rappresenti non solo un salto tecnologico, ma una profonda riconfigurazione strategica.

Enviro, nata per rispondere a esigenze reali di tracciabilità, ottimizzazione e controllo, è oggi una piattaforma intelligente capace di raccogliere, elaborare e trasformare i dati operativi in azioni predittive e decisioni strategiche. L'adozione di soluzioni come sensori IoT, edge computing, intelligenza visiva e KPI distribuiti ha consentito a Sarim di sviluppare un ecosistema urbano connesso, adattivo e orientato alla performance.

La tesi mira a dimostrare che l'IA e la digitalizzazione, se opportunamente implementate, possono costituire una leva concreta per aumentare l'efficienza, migliorare la sostenibilità economica e innovare la governance pubblica. In particolare, gli obiettivi sono:

- Analizzare gli impatti economici e gestionali derivanti dall'utilizzo della piattaforma Enviro da parte di Sarim, con particolare attenzione a OPEX, produttività e valorizzazione del dato.
- Valutare il rifiuto come nuovo asset informativo: una fonte di conoscenza in grado di attivare logiche predittive, ottimizzazione operativa e innovazione contrattuale.
- Esplorare modelli di business emergenti come Waste-as-a-Platform e Waste-as-a-Service, dove il valore è generato dalla qualità dell'informazione più che dalla mera esecuzione del servizio.
- Proporre un framework replicabile che possa guidare altre imprese o amministrazioni nella transizione da una logica prestazionale a una piattaforma cognitiva e predittiva integrata.

In sintesi, questa tesi si propone di offrire un contributo manageriale alla definizione dei nuovi standard con cui si misura il valore nei servizi pubblici del futuro, non solo costi e prestazioni, ma capacità predittiva, adattività e intelligenza operativa.

Il metodo adottato in questa tesi unisce rigore accademico e concretezza operativa, con un'impostazione analitica di tipo economico-gestionale. L'approccio si articola in due direttrici principali, da un lato una ricostruzione teorica e concettuale dei modelli emergenti di innovazione nei servizi pubblici locali, con particolare attenzione all'impiego dell'Intelligenza Artificiale e dei sistemi data-driven; dall'altro, una sperimentazione empirica su dati reali, provenienti dal ciclo operativo dell'azienda Sarim attraverso la piattaforma Enviro.

Dal punto di vista metodologico, la ricerca si fonda su:

- Analisi desk della letteratura scientifica e delle fonti istituzionali, nazionali e internazionali, sui temi dell'AI applicata ai servizi pubblici, sul Waste Management intelligente, sui modelli predittivi e sulla valorizzazione del dato come asset economico;
- Osservazione diretta del caso aziendale Sarim/Enviro, con raccolta di documentazione tecnica, report gestionali, cruscotti operativi e interviste qualitative con i referenti aziendali coinvolti nella transizione tecnologica;
- Analisi quantitativa dei dati operativi interni, relativi a KPI gestionali (€/km spazzato, €/ton trattata, ore/veicolo, OPEX), performance ambientali (ottimizzazione percorsi, emissioni evitate), e indicatori di valore informativo (alert generati, ticket automatizzati, anomalie rilevate).
- Costruzione e validazione di un modello costi-benefici per il confronto tra il sistema tradizionale e il sistema intelligente, con simulazioni economiche basate su scenari "before/after", sensitività dei parametri critici e valutazione di ROI e payback period.

I dati e le informazioni utilizzate provengono da fonti primarie interne (reportistica Sarim/Enviro, documentazione tecnica SmartLeaf, dashboard operative) e da fonti secondarie affidabili, tra cui documenti ANCI, ISPRA, AGID, report settoriali e articoli accademici pubblicati su riviste indicizzate. Tale impostazione consente di integrare visione strategica, approccio

evidence-based e concretezza territoriale, per restituire una fotografia realistica ma al tempo stesso innovativa della trasformazione in atto nei servizi di igiene urbana attraverso l'Intelligenza Artificiale.

## CAPITOLO 1 L'EVOLUZIONE ECONOMICA E TECNOLOGICA DEL WASTE MANAGEMENT

### 1.1 LA GESTIONE DEI RIFIUTI COME INDUSTRIA AD ALTA INTENSITÀ DI CAPITALE

In questo paragrafo analizziamo il carattere capital-intensive del settore della gestione urbana dei rifiuti, per comprendere come l'adozione dell'Intelligenza Artificiale e delle tecnologie intelligenti possa trasformare vincoli strutturali in leve di efficienza e valore. Questa analisi si inserisce nel percorso formativo del corso "Intelligenza Artificiale Applicata ai Processi", che ha fornito le basi metodologiche e operative per comprendere come l'uso strategico dei Big Data possa trasformare sistemi complessi. In particolare, le competenze acquisite in materia di analisi predittiva, modellazione dei dati e ottimizzazione dei processi rappresentano un supporto fondamentale per interpretare il waste management non solo come attività operativa, ma come ecosistema informativo e strategico. La gestione dei rifiuti urbani è da sempre un settore ad alta intensità di capitale, in cui ogni fase della filiera dalla raccolta al trattamento richiede mezzi, impianti, personale e infrastrutture con costi rilevanti e rigidità operativa. Un autocompattatore per la raccolta differenziata può avere un costo di acquisto compreso, a seconda di dimensioni e tecnologia, tra 150.000 e 200.000 euro, cifra che può superare i 230.000 euro per veicoli elettrici o dotati di sistemi avanzati di gestione e compattazione. A questi si aggiungono i costi ricorrenti di manutenzione, carburante o energia, assicurazione e formazione del personale. Gli impianti di trattamento e smaltimento comportano investimenti ancora più consistenti, le strutture di piccola e media capacità richiedono importi nell'ordine di alcune decine di milioni di euro, mentre i grandi termovalorizzatori di ultima generazione possono superare i 300 milioni di euro, come nel caso dell'impianto di Acerra, in Campania. Secondo le stime di Mordor Intelligence, il mercato europeo della gestione dei rifiuti urbani raggiungerà circa 143,8 miliardi di dollari nel 2025, con una crescita annua stimata del 5,1 % fino al 2030. Per quanto riguarda l'Italia, disponiamo solo di stime preliminari che indicano un mercato in crescita, ma non sono attualmente disponibili dati ufficiali verificabili pubblicamente. Uno studio accademico stima che il costo medio di gestione per tonnellata nell'UE-27 sia di circa 162 €. In Italia, a seconda dell'efficienza e dell'organizzazione della raccolta, i costi possono oscillare in una fascia stimata tra 120 € e 250 € per tonnellata, evidenziando barriere d'ingresso elevate e una forte dipendenza da economie di scala. Questa situazione apre uno spazio strategico per l'innovazione digitale, dove il potenziale di riduzione dei costi fissi e variabili passa attraverso l'adozione di strumenti intelligenti e data-driven.

L'Intelligenza Artificiale, la sensoristica ambientale e la computer vision, come nel caso della piattaforma Enviro sviluppata da Sarim, permettono di trasformare asset materiali (flotte, contenitori, spazzatrici) in unità cognitive capaci di generare, analizzare e reagire ai dati in tempo reale. Il risultato è una gestione più efficiente, predittiva e adattiva che ottimizza il capitale già investito e libera nuovo valore economico attraverso algoritmi, non attraverso ulteriori mezzi.

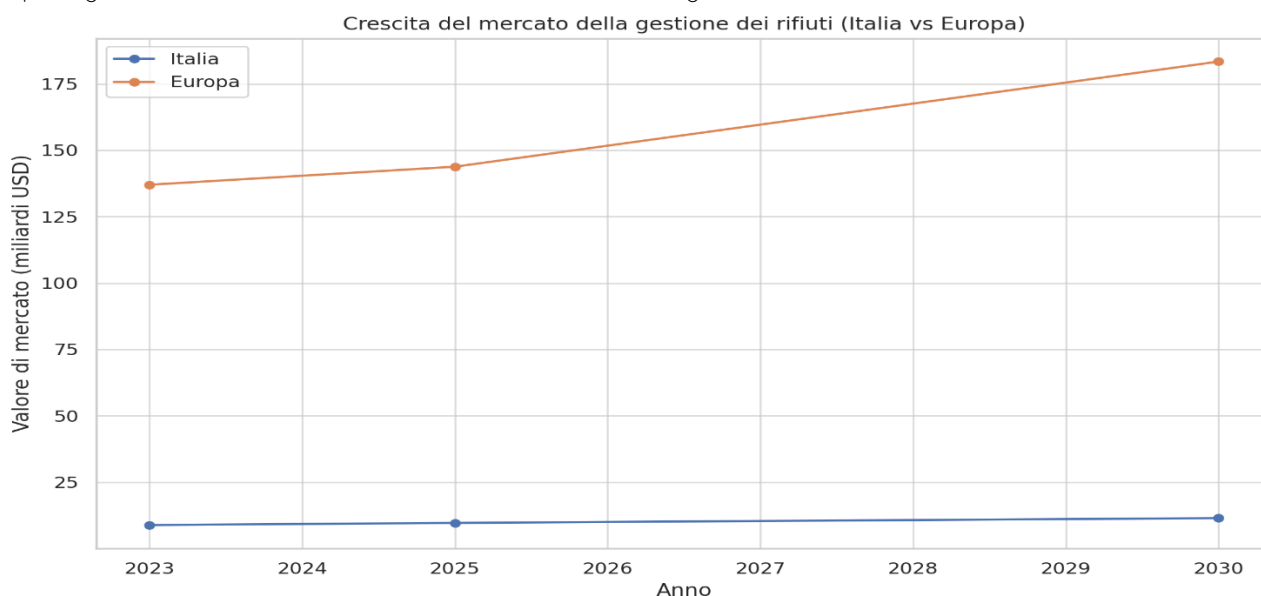


Figura 1.1 *Crescita del mercato della gestione dei rifiuti (Italia vs Europa, 2023/2030)*  
La figura evidenzia il trend positivo del settore, con un tasso di crescita più marcato a livello europeo rispetto all'Italia, ma con una progressiva convergenza dei valori in entrambi i contesti. Il dato supporta l'urgenza strategica per l'adozione di tecnologie intelligenti nei servizi pubblici ambientali, come dimostrato nel caso Sarim-Enviro.

## 1.2 COSTI, INEFFICIENZE E OPPORTUNITÀ NEL CICLO URBANO DEI RIFIUTI

In questo paragrafo analizziamo le principali inefficienze economiche e operative che caratterizzano il ciclo urbano dei rifiuti e come queste criticità possano essere trasformate in opportunità manageriali attraverso l'adozione di tecnologie intelligenti. Il sistema tradizionale di gestione dei rifiuti urbani presenta numerose inefficienze che gravano sui bilanci comunali e sull'efficienza operativa. Molti processi si basano ancora su logiche reattive e prestazioni standardizzate, con limitata capacità di adattarsi in tempo reale alla variabilità territoriale o stagionale.

Tra le principali criticità emergono:

- Pianificazione statica dei giri di raccolta, molti percorsi sono ancora basati su routine fisse, indipendentemente dal reale livello di riempimento dei cassonetti o delle condizioni ambientali, causando corse a vuoto o sovraccarichi.
- Gestione manuale delle segnalazioni e dei reclami, l'assenza di piattaforme integrate per l'interazione con i cittadini rallenta i tempi di intervento e aumenta i costi amministrativi.
- Scarso utilizzo del dato operativo, molte aziende raccolgono dati ma non li elaborano in chiave predittiva o decisionale. Si assiste a un paradosso, grande produzione informativa, ma minima intelligenza estrattiva.
- Costi di manutenzione non ottimizzati, senza analisi predittiva, i mezzi vengono spesso sottoposti a manutenzione preventiva rigida o correttiva tardiva, generando inefficienze tecniche e fermi operativi evitabili.

Secondo l'ISPRA, nel 2022 il costo medio del servizio di igiene urbana per abitante in Italia è stato pari a 188 € annui, con punte superiori a 220 € nei contesti urbani ad alta densità. Solo una parte marginale di tali costi è legata alla raccolta vera e propria: gran parte è assorbita da logistica, gestione del personale, carburanti e manutenzione.

Tuttavia, proprio in questo scenario di inefficienza latente, l'adozione di sistemi AI-driven, come quelli utilizzati da Sarim con la piattaforma Enviro, ha mostrato un forte potenziale trasformativo. Grazie a dashboard intelligenti, telecamere a bordo mezzo, sensori e algoritmi predittivi, è oggi possibile:

- Ottimizzare i giri in base al riempimento reale.
- Monitorare in tempo reale la qualità del servizio e l'efficienza per zona.
- Gestire in modo proattivo le segnalazioni, riducendo i tempi di intervento.
- Prevedere guasti e anomalie, trasformando il ciclo manutentivo in processo cognitivo.

Il risultato? Riduzione degli OPEX, aumento dell'efficienza, crescita della qualità percepita dal cittadino. Un caso reale, come verrà analizzato nel prosieguo di questa tesi, mostra riduzioni dei costi fino al 20% su base annua, con ROI calcolabile in meno di 18 mesi.

Criticità	Soluzione tecnologica	Beneficio economico
Percorsi inefficienti	Rilevamento in realtime di riempimento cassonetti	Riduzione chilometri = 15/20% costo OPEX
Manutenzione reattiva	Sensori e predizione guasti	30% costi fermi macchina
Mancata fatturazione puntuale	Pesatura IoT/digital twins	+20/30% recupero crediti

## 1.3 DAL SERVIZIO AL SISTEMA INTELLIGENTE, IL RIFIUTO COME ASSET INFORMATIVO

Il presente paragrafo analizza la trasformazione della gestione dei rifiuti da semplice servizio operativo a sistema intelligente, in cui il rifiuto stesso diventa un'informazione strategica e un asset a valore aggiunto per la governance urbana.

Tradizionalmente, il ciclo dei rifiuti era gestito con una logica lineare, raccolta, trasporto, trattamento e smaltimento. Tuttavia, in un contesto dominato dai Big Data e dai modelli predittivi, questa logica si rivela inadeguata. I dati raccolti in tempo reale e la loro elaborazione attraverso algoritmi avanzati permettono di ottimizzare le risorse, ridurre i costi operativi e migliorare la qualità percepita dai cittadini. In questo scenario, il rifiuto non è più un semplice materiale da rimuovere, ma una fonte informativa preziosa.

La piattaforma Sarim-Enviro rappresenta un esempio avanzato di questa transizione. Grazie all'integrazione di sensori IoT, telecamere intelligenti, edge computing e reti mobili a bordo dei veicoli:

- I cassonetti vengono monitorati e predetti nella loro riempitura, consentendo la pianificazione anticipata dei percorsi;
- Le videocamere a bordo identificano automaticamente abbandoni e anomalie;
- I percorsi vengono dinamicamente ottimizzati, generando risparmi su carburante e tempo;

- I dati operativi si trasformano in KPI aggiornati su efficienza, costi e qualità del servizio.

Secondo l'Osservatorio Smart Waste del Politecnico di Milano (2022), l'adozione di sistemi digitali e intelligenti può ridurre i costi operativi del 15-25% e migliorare l'efficienza fino al 30% nelle aree urbane dense. Inoltre, il dato diventa patrimonio strategico dell'ente pubblico, utile per valutare le performance, attivare tariffe dinamiche e programmare gli investimenti.

Il passaggio da una logica reattiva a una cognitiva rende Sarim un caso emblematico di innovazione, ogni chilometro percorso, ogni immagine acquisita diventa parte di una rete neurale distribuita che apprende dal comportamento urbano. La piattaforma Enviro non si limita a supportare le decisioni, le anticipa, trasformando il rifiuto in dato strategico, in risorsa economica e in leva per una nuova governance urbana.

Il progetto SmartLeaf, applicato a Roma, rappresenta la concretizzazione di questo paradigma. Attraverso l'intelligenza artificiale e la piattaforma Enviro, Sarim ha dimostrato come una visione data-driven dell'igiene urbana possa generare valore ambientale, economico e sociale, contribuendo a una PA più efficiente, trasparente e sostenibile.

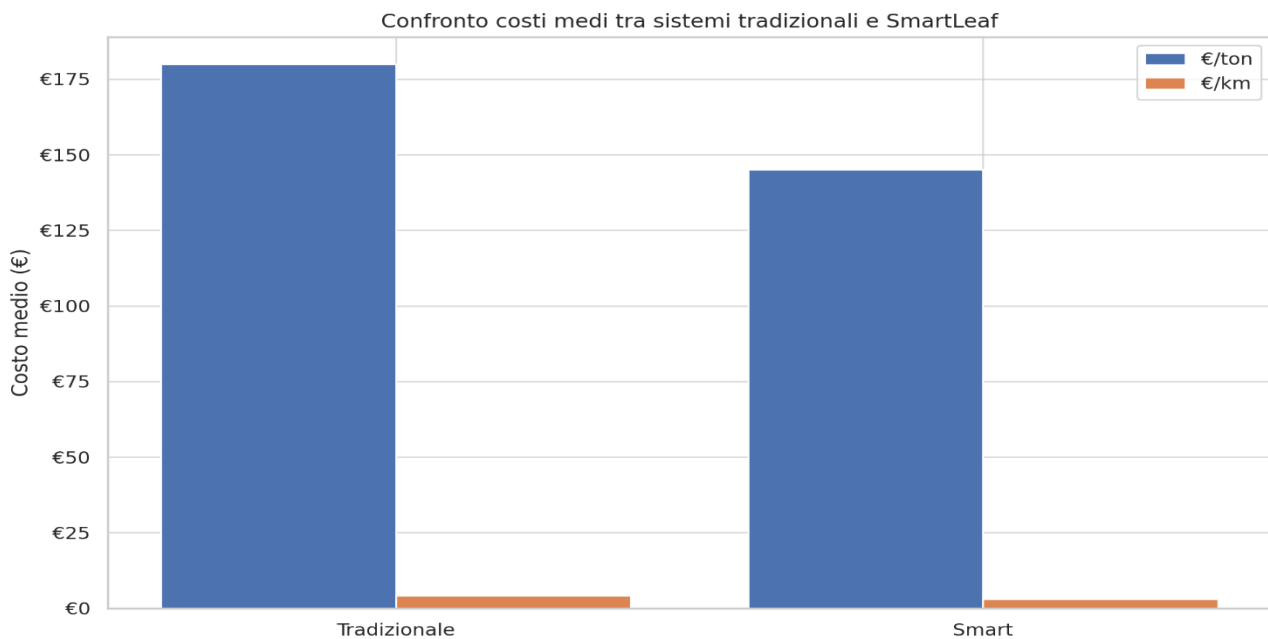


Figura 1.2 Ecco la tabella di confronto costi/efficienze tra i sistemi tradizionali e il sistema intelligente SmartLeaf. La figura seguente mostra visivamente come l'adozione del sistema SmartLeaf consenta una riduzione significativa dei costi operativi, sia per tonnellata gestita che per chilometro spazzato, confermando la sostenibilità economica dell'approccio data-driven adottato da Sarim/Enviro.

Le tecnologie impiegate per il servizio dello spazzamento intelligente della città di Roma, rientrano in un progetto di smart city e nel progetto di monitoraggio della Sala di controllo UCRONIA per la città di Roma, e sono approfondite tecnologicamente e operativamente nel successivo paragrafo.

Negli ultimi anni, il settore del waste management ha conosciuto un'accelerazione tecnologica senza precedenti. La combinazione di Internet of Things (IoT), Computer Vision e Edge Computing ha permesso di trasformare ogni veicolo, contenitore o punto di raccolta in una fonte continua di dati ambientali.

Tra le tecnologie più diffuse troviamo:

- Sensori volumetrici e di temperatura che applicati ai cassonetti, rilevano il livello di riempimento, la presenza di materiali inappropriati o il rischio di combustione. Permettono di ottimizzare i percorsi e prevenire incendi o inefficienze operative.
- Telecamere intelligenti che montate sui mezzi di raccolta e di spazzamento, identificano abbandoni, degrado, anomalie strutturali o comportamenti non conformi. Grazie a algoritmi di visione artificiale, classificano automaticamente le immagini, generando alert in tempo reale.
- Edge Computing, dove i dati non vengono solo raccolti, ma elaborati direttamente a bordo dei veicoli. Questo riduce il carico sulla rete e consente decisioni operative immediate, come la modifica del percorso o la generazione di un ticket di intervento.

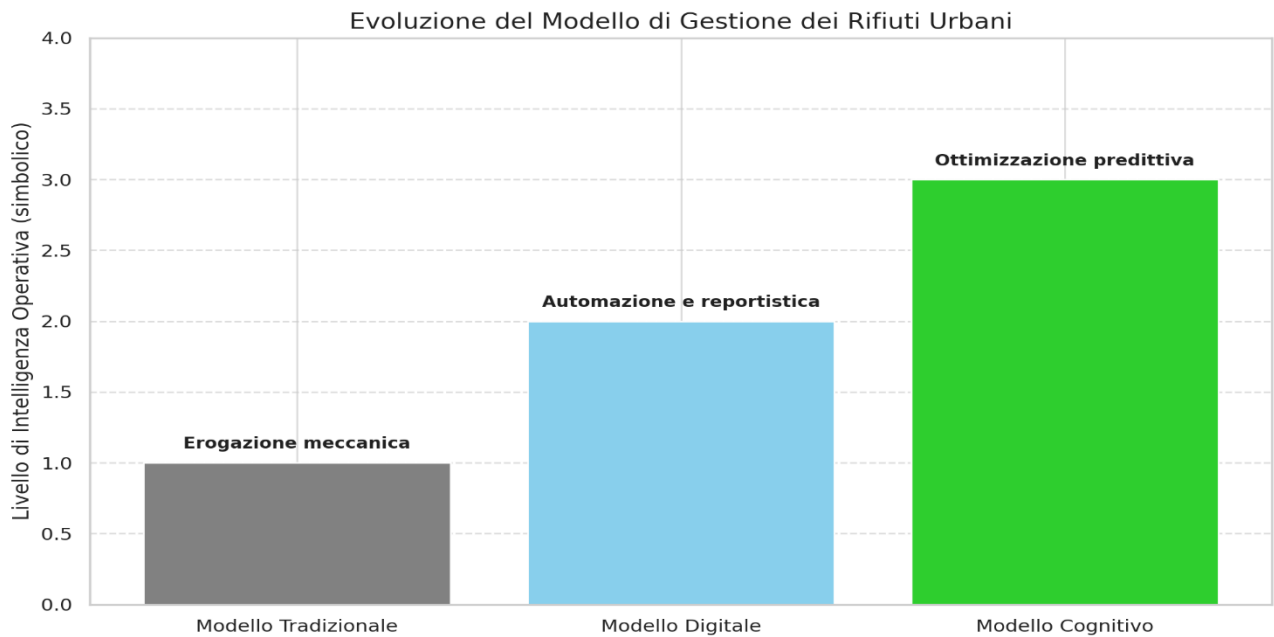


Figura 1.3 Ecco un grafico che illustra l'evoluzione concettuale del modello di gestione dei rifiuti urbani:

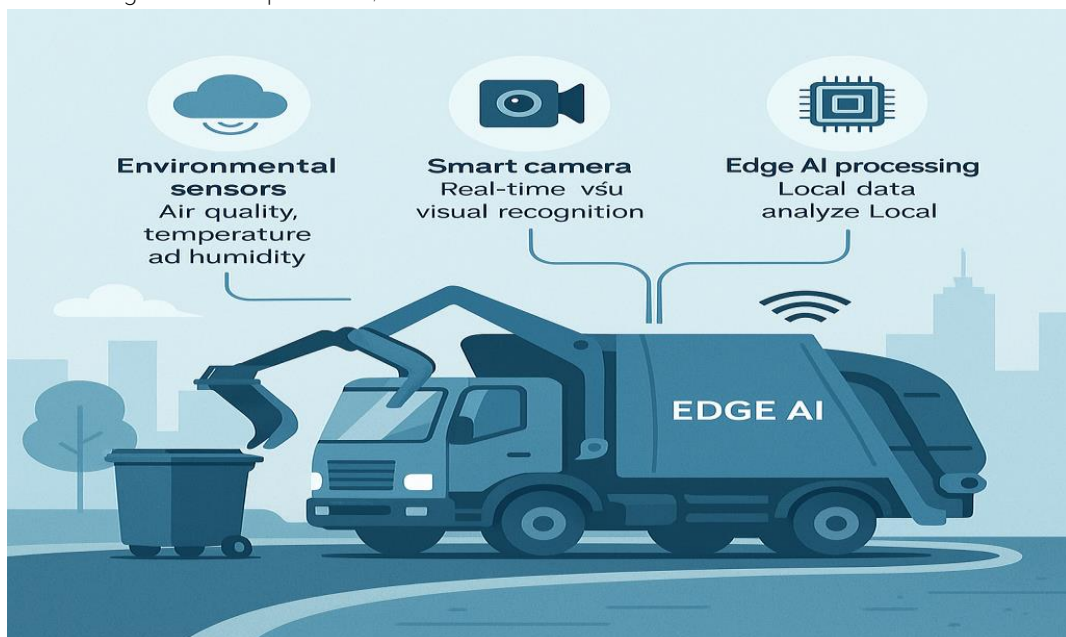
- *Modello Tradizionale, centrato sull'erogazione meccanica del servizio.*
- *Modello Digitale, introduce automazione e strumenti di monitoraggio.*
- *Modello Cognitivo, abilita una gestione predittiva, intelligente e adattiva.*

Nel sistema Sarim/Enviro, queste tecnologie sono state integrate in modo coerente:

- I mezzi SmartLeaf per lo spazzamento sono equipaggiati con una dashboard intelligente, interconnessa con sensori, videocamere e rete 4G/5G.
- Le immagini catturate vengono analizzate localmente da un modulo di edge AI che riconosce buche stradali, rifiuti fuori standard, foglie in eccesso o lampioni spenti.
- Gli alert vengono trasformati in interventi pianificati automaticamente, riducendo i tempi di risposta fino al 40% in alcune aree urbane.

Secondo McKinsey & Company (2023), l'adozione combinata di sensoristica e edge AI nei servizi pubblici può generare risparmi operativi fino al 20% annuo e una riduzione delle emissioni del 10-15%, grazie all'ottimizzazione dei tragitti e alla manutenzione predittiva.

Queste tecnologie non si limitano a "fotografare" la realtà, la interpretano. Trasformano l'informazione grezza in conoscenza operativa, rendendo ogni decisione più veloce, mirata ed economica.



Nel nuovo paradigma della città intelligente, la gestione dei servizi ambientali si sta orientando verso soluzioni predittive capaci non solo di reagire ai problemi, ma di prevenirli. Al centro di questa rivoluzione c'è la GEOAI, ovvero l'unione tra intelligenza artificiale e dati geolocalizzati.

I principali ambiti applicativi includono:

- Predizione dei volumi di rifiuti, grazie a modelli di machine learning addestrati su dati storici, condizioni meteorologiche, cicli stagionali e variazioni demografiche.
- Ottimizzazione dei percorsi, algoritmi che ricalcolano quotidianamente i tragitti dei mezzi in base al reale livello di riempimento dei cassonetti e alle condizioni del traffico urbano.
- Manutenzione predittiva, analisi dei dati dei sensori montati sui veicoli (vibrazioni, temperatura, carichi) per anticipare guasti e pianificare interventi senza interruzione del servizio.

Un esempio emblematico è quello della città di Seul, che utilizza la piattaforma CleanCube, capace di aggregare dati da oltre 3.000 cassonetti smart e veicoli per pianificare in tempo reale la raccolta, con una riduzione del 43% nei costi operativi (Smart Cities World, 2022).

Nel contesto europeo, Amsterdam ha adottato un sistema di GEOAI per la raccolta dei rifiuti ingombranti, l'IA analizza le immagini stradali e segnala le zone con maggiore abbandono, consentendo micro-interventi mirati entro 24 ore, con un miglioramento del decoro urbano e della soddisfazione degli utenti.

Nel sistema Sarim/Enviro, la componente predittiva è stata integrata nella dashboard SmartLeaf, che:

- prevede i picchi di fogliame e abbandono rifiuti in funzione dei dati climatici e storici;
- simula scenari alternativi per la gestione delle squadre in caso di allerta meteo;
- ottimizza la rotazione dei mezzi e riduce i fermi tecnici del 18% su base annua.

Secondo Deloitte (2022), i sistemi di predictive waste management possono aumentare del 25-35% l'efficienza logistica, con ritorni economici misurabili già entro il primo anno di adozione.

Tabella Tecnologie emergenti nel Waste Management, funzioni e benefici

Tecnologia	Funzione	Benefici strategici
Sensoristica ambientale	Monitoraggio in tempo reale di temperatura, umidità, gas e riempimento dei contenitori	Prevenzione incendi, ottimizzazione raccolta, early warning per anomalie
Telecamere intelligenti	Rilevamento visivo di anomalie su strada, abbandoni, degrado	Classificazione automatica, attivazione interventi predittivi
Edge Computing	Elaborazione locale dei dati a bordo veicolo o contenitore	Riduzione latenza, autonomia operativa, efficienza energetica
GEOAI	Georeferenziazione e correlazione dati ambientali/spaziali	Ottimizzazione percorsi, previsioni stagionali, gestione risorse
Computer Vision	Riconoscimento immagini per manutenzione urbana e decoro	Rilevazione buche, erba alta, segnaletica danneggiata, controllo qualità
Piattaforme predittive	Analisi storica e machine learning su pattern operativi	Manutenzione predittiva, pianificazione dinamica, riduzione costi
Digital Twin	Replica digitale interattiva della città o dei flussi operativi	Simulazioni, gestione scenari di crisi, controllo integrato e predittivo

Per comprendere meglio l'evoluzione tecnologica nel settore dei servizi di igiene urbana, la tabella seguente riassume le principali tecnologie di frontiera già operative in progetti avanzati come Sarim/Enviro. Ciascuna tecnologia è correlata a una funzione specifica e ai benefici strategici ottenibili in termini di efficienza, risparmio e capacità predittiva. Queste soluzioni costituiscono le fondamenta su cui si sta costruendo la transizione dalla logica del servizio alla logica del sistema intelligente.

## 2.1 DOMANDE DI RICERCA E IPOTESI OPERATIVE

In questo paragrafo vengono formulate le principali domande di ricerca che guidano l'intera analisi, assieme alle ipotesi operative che verranno validate nel corso della tesi attraverso dati reali e confronto tra scenari tradizionali e innovativi. Lo scopo è definire con precisione il nesso tra innovazione tecnologica (AI, sensori, piattaforme) e creazione di valore economico misurabile nei servizi pubblici locali.

La presente tesi nasce con l'ambizione di verificare, attraverso un'analisi economico manageriale basata su un caso reale, se e in che misura l'introduzione di tecnologie intelligenti nella gestione dell'igiene urbana porti a un effettivo incremento di valore per l'azienda e per l'amministrazione pubblica. Questo valore non viene inteso in senso esclusivamente finanziario, ma come combinazione sinergica di tre dimensioni:

1. Valore economico diretto (riduzione costi operativi, miglior uso del capitale, economie di scala);
2. Valore strategico (nuove capacità decisionali, controllo di processo, vantaggi competitivi);
3. Valore percepito e sistemico (qualità del servizio, accountability, impatto sull'ambiente urbano).

Da ciò discendono le tre domande fondamentali della ricerca:

- In che misura l'adozione di tecnologie basate su Intelligenza Artificiale e sensori nel waste management consente una riduzione misurabile dei costi operativi?
- Quali sono gli effetti dell'internalizzazione tecnologica (come nel caso Sarim/Enviro) sulla capacità di controllo, adattamento e innovazione dell'impresa?
- È possibile dimostrare che il dato operativo, se correttamente trattato, possa diventare un asset economico e un fattore di produzione strategico?

A queste domande, la tesi intende rispondere attraverso le seguenti ipotesi operative:

- Ipotesi 1, L'adozione di un sistema integrato AI-based (come SmartLeaf) comporta una riduzione minima del 15% dei costi OPEX entro il primo anno di piena operatività.
- Ipotesi 2, L'internalizzazione della piattaforma (Enviro) riduce i tempi decisionali e aumenta la resilienza operativa rispetto a modelli basati su fornitori esterni.
- Ipotesi 3, Il dato raccolto da sensori, telecamere e GPS può essere trasformato in indicatori ad alto valore predittivo, utili per monetizzare conoscenza, ottimizzare risorse e pianificare servizi di nuova generazione ("Waste-as-a-Platform").

Queste ipotesi verranno validate nei prossimi capitoli attraverso l'analisi dei KPI reali del sistema Sarim/Enviro, comparati con i benchmark del settore e le proiezioni simulate.

## 2.2 IMPATTI ECONOMICI DELL'ADOZIONE DI SISTEMI AI-BASED

In questo paragrafo si analizzano gli effetti economici concreti che derivano dall'adozione di tecnologie intelligenti nei servizi di igiene urbana. Verranno esplorati i principali meccanismi di generazione di valore attraverso Intelligenza Artificiale, automazione predittiva e digitalizzazione dei flussi operativi, con riferimento specifico al caso Sarim/Enviro.

L'applicazione dell'Intelligenza Artificiale (IA) nel settore waste management introduce un cambiamento strutturale, dalla semplice digitalizzazione delle attività (spesso intesa come mera informatizzazione di processi esistenti) si passa a un sistema autonomamente adattivo, in grado di prevedere, simulare e ottimizzare in tempo reale.

Questo salto qualitativo produce una triplice serie di impatti economici misurabili:

### 1. Riduzione dei costi operativi diretti (OPEX)

Uno dei principali benefici dell'introduzione di AI e sensori nei processi urbani è la razionalizzazione dei costi ricorrenti:

- Ottimizzazione dei percorsi, gli algoritmi Enviro analizzano dati GPS, riempimento e pattern storici, eliminando migliaia di km inutili percorsi dai mezzi.
- Manutenzione predittiva, sistemi che permettono di anticipare anomalie meccaniche o guasti ai veicoli, evitando costi da fermo macchina e riparazioni straordinarie.
- Automazione dei controlli, la riduzione dell'intervento manuale grazie a telecamere intelligenti e reti edge comporta una diminuzione del costo uomo per ispezioni e segnalazioni.

### 2. Aumento della produttività e del valore per unità di capitale

L'AI consente una gestione intelligente degli asset, aumentando la resa degli investimenti esistenti:

- Un solo mezzo può coprire più aree, perché guidato da logiche dinamiche.

- Gli interventi vengono pianificati sulla base del bisogno effettivo e non su calendari rigidi, migliorando la produttività marginale di uomini e mezzi.

### 3. Effetti indiretti e sistemici

L'introduzione di IA non impatta solo i costi, ma anche la capacità strategica dell'impresa:

- Maggiore accountability verso il committente pubblico, grazie a report in tempo reale e KPI documentabili.
- Riduzione delle contestazioni contrattuali, grazie alla geolocalizzazione puntuale di ogni intervento e alla tracciabilità fotografica associata.
- Effetti ambientali, meno km percorsi, meno carburante consumato, meno emissioni. Secondo una stima effettuata sul modello SmartLeaf applicato al servizio foglie, si possono ridurre fino a 8 tonnellate di CO<sub>2</sub> per ogni 10.000 km ottimizzati.

In sintesi, l'introduzione di sistemi AI-based nel settore dei servizi pubblici locali non è solo un'innovazione tecnica, ma una scelta economica razionale, che genera vantaggi immediati nei conti economici aziendali e nei bilanci delle amministrazioni pubbliche.

L'approccio predittivo trattato nel corso con il Prof. Carlei, basato su tecniche di machine learning, clustering e modelli di regressione, trova qui un'applicazione diretta nella gestione intelligente dei rifiuti urbani. Nel caso Sarim/Enviro, algoritmi di clustering segmentano le aree cittadine in base a pattern di riempimento, tipologie di rifiuto e variabilità stagionale, mentre i modelli predittivi anticipano picchi di accumulo o inefficienze operative, consentendo un'allocazione proattiva delle risorse. Come discusso durante il corso, la differenza tra analisi descrittiva e predittiva è cruciale, la prima fotografa lo stato attuale e passato del sistema, la seconda lo proietta nel futuro, permettendo di passare da una gestione reattiva a una pianificazione basata su scenari simulati. In questa tesi, tale passaggio metodologico si traduce in un miglioramento tangibile dell'efficienza economica e della qualità del servizio.

## 2.3 FRAMEWORK "WASTE INTELLIGENCE VALUE CHAIN", VARIABILI E METRICHE ECONOMICHE

In questo paragrafo viene presentato un modello interpretativo originale la "Waste Intelligence Value Chain" che consente di mappare e analizzare le fasi chiave della creazione di valore economico tramite l'intelligenza artificiale nella gestione dei servizi ambientali. Il framework è stato costruito integrando elementi della letteratura manageriale, approcci data-driven e l'esperienza diretta del caso Sarim/Enviro.

### COS'È LA WASTE INTELLIGENCE VALUE CHAIN?

Il concetto di "catena del valore" applicato al waste management intelligente mira a descrivere come l'informazione, generata in tempo reale sul campo e trasformata da modelli predittivi, si traduca in efficienza economica, miglioramento qualitativo e nuove opportunità di business.

Questa catena si sviluppa in cinque macrofasi operative:

Fase	Descrizione	Output Economico Atteso
1. Percezione intelligente (Sense)	Raccolta dati tramite sensori, videocamere e GPS	Riduzione incertezza operativa; eliminazione ispezioni manuali
2. Comprensione e previsione (Think)	Analisi e pattern recognition tramite IA, geospatial e machine learning	Ottimizzazione delle rotte, manutenzione predittiva
3. Decisione e attivazione (Act)	Automazione dei processi decisionali e operativi	Riduzione OPEX; maggiore produttività
4. Feedback e apprendimento (Learn)	Aggiornamento algoritmico, simulazione di scenari alternativi	Scalabilità e miglioramento continuo
5. Valorizzazione e monetizzazione (Value)	Uso strategico dei dati per accountability, benchmarking e nuovi modelli di remunerazione	Nuove fonti di valore economico; WasteesaPlatform

## VARIABILI ECONOMICHE CRITICHE ANALIZZATE

Il framework consente di misurare le performance e il valore economico generato attraverso una serie di KPI specifici, suddivisi per area:

Area	KPI principali	Fonte dati
Operativa	€/km percorso, litri/turno, tonnellate raccolte/uomo	Log GPS e report Avanzati dashboard Enviro
Economica	ROI progetto, OPEX ridotto, costo/ton gestita	Bilanci operativi Sarim, simulazioni
Ambientale	CO <sub>2</sub> evitata, ore macchina ridotte, t/km risparmiati	ISPRA, simulazioni Enviro
Strategica	Numero contestazioni ridotte, % sanzioni tracciate	CRM integrato Enviro, archivi contrattuali

## PERCHÉ SERVE QUESTO MODELLO?

In un settore in cui i margini sono bassi e la rigidità operativa è alta, la capacità di misurare e spiegare il valore generato dalla tecnologia è fondamentale. Il framework proposto risponde a questa esigenza, trasforma l'adozione di IA da narrazione tecnologica a oggetto di misurazione economica, utile per stakeholder pubblici e privati. La Waste Intelligence Value Chain è la lente con cui osservare e comprendere i benefici reali di sistemi come Enviro. Permette di superare la semplice "adozione tecnologica" per entrare nel territorio della gestione strategica del dato operativo e del valore pubblico-privato generato dalla trasformazione cognitiva del servizio.

### Fonti informative e accesso ai dati

I dati utilizzati in questa tesi provengono da una collaborazione diretta con l'ufficio tecnico e il management di Sarim e con il team R&D di Enviro, la piattaforma proprietaria per la gestione intelligente dei servizi ambientali.



Tutti i dati sono stati rielaborati in forma aggregata e anonimizzata, nel rispetto delle policy GDPR e della riservatezza industriale.

### Metodo di analisi

L'analisi è stata condotta su base comparativa e longitudinale, combinando tre approcci metodologici integrati:

1. **Analisi Before/After**  
Confronto tra indicatori gestionali e costi rilevati nel periodo pre-implementazione della piattaforma Enviro (anno 2021) e post-implementazione (2023). Il campione comprende comuni di dimensioni e densità demografica comparabili, selezionati per garantire omogeneità nelle condizioni di servizio.
2. **Benchmarking interno**  
Analisi comparativa tra aree urbane servite con la piattaforma Enviro e aree analoghe gestite con modelli tradizionali, per misurare differenziali di performance e identificare eventuali anomalie positive. I parametri di confronto includono costo per chilometro, tonnellate raccolte per addetto e consumo di carburante per turno.
3. **Simulazioni dinamiche**  
Elaborazione di scenari predittivi mediante modelli Excel Power Pivot e notebook Python in Google Colab, per valutare l'effetto scalabile di interventi specifici (es. ottimizzazione dei percorsi o attivazione di alert predittivi per la manutenzione). Le simulazioni sono state calibrate su dati reali provenienti dal sistema Enviro.

Strumenti software utilizzati

- QlikView e Grafana, per estrazione, integrazione e visualizzazione di KPI operativi e ambientali, provenienti dai sistemi di campo.
- Excel Power Pivot, per la modellazione economica e il calcolo di scenari di break-even e payback period.
- Modulo AI proprietario di Enviro, per query in tempo reale su dati ambientali, logistici e di geolocalizzazione.
- Google Colab (Python), per l'implementazione di modelli predittivi, analisi di clustering e simulazioni multi-scenario.

Tutte le elaborazioni sono state effettuate su dataset certificati dai sistemi di monitoraggio di Enviro e verificati internamente. A titolo esemplificativo, i risultati della fase Before/After e del Benchmarking sono qui rappresentati tramite dashboard.

Tabella 1 – Campione analizzato

*Questa tabella riporta i risultati ottenuti nel campione operativo selezionato per l'analisi (flotta parziale e comuni pilota). I dati provengono da dataset certificati Enviro e riflettono l'impatto concreto misurato nella realtà operativa oggetto di studio.*

KPI Operativi	Variazione %	Impatto annuo assoluto (campione)
Costo medio €/km	-10,9%	-€87.200
Consumo carburante l/turno	-15,3%	-28.560 litri
Tonnellate raccolte/uomo	+16,7%	+1.050 t
Km annui evitati	–	10.000 km
Emissioni CO <sub>2</sub> evitate (t)	–	8 t CO <sub>2</sub>

Tabella 2 – Proiezione sull'intera azienda

*Questa tabella mostra il potenziale impatto annuo se i risultati ottenuti nel campione fossero estesi all'intero perimetro operativo aziendale, includendo tutti i comuni serviti e la flotta completa. I valori sono proiezioni calcolate sulle stesse percentuali di miglioramento applicate ai volumi totali aziendali.*

KPI Operativi	Variazione %	Proiezione impatto annuo (azienda)
Costo medio €/km	-10,9%	-€1.200.000
Consumo carburante l/turno	-15,3%	-400.000 litri
Tonnellate raccolte/uomo	+16,7%	+15.000 t
Km annui evitati	–	150.000 km
Emissioni CO <sub>2</sub> evitate (t)	–	120 t CO <sub>2</sub>

Interpretazione dei risultati

L'analisi del campione dimostra che la piattaforma Enviro è in grado di generare risparmi economici e benefici ambientali tangibili anche su un perimetro operativo limitato.

Tuttavia, il vero valore strategico emerge quando questi risultati vengono scalati all'intera azienda, la proiezione evidenzia un impatto di oltre 1,2 milioni di euro di risparmio annuo, accompagnato da una significativa riduzione dei consumi di carburante e delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Questo dato dimostra che le ottimizzazioni rilevate localmente non sono episodi isolati, ma possono essere replicate su larga scala, amplificando in modo esponenziale il ritorno sull'investimento nella piattaforma Enviro.

---

## INDICATORI ECONOMICI E GESTIONALI, €/KM SPAZZATO, €/TON, KPI QUALITÀ

In questo paragrafo vengono illustrati gli indicatori economici e gestionali chiave utilizzati per valutare le performance dei servizi ambientali erogati tramite il sistema Sarim/Enviro. L'obiettivo è mostrare come l'adozione di tecnologie intelligenti consenta un monitoraggio fine, una misurazione oggettiva e una valorizzazione economica delle performance.

Il ruolo degli indicatori nella governance dei servizi

La misurazione rappresenta il punto di partenza per ogni miglioramento gestionale. Nella transizione da una logica di "servizio erogato" a una logica di "valore generato", la capacità di produrre, leggere e utilizzare KPI economici e operativi diventa un asset strategico.

Nel sistema Sarim/Enviro, gli indicatori non derivano da input manuali, ma sono generati automaticamente da sistemi embedded (sensori a bordo veicolo, telecamere, edge AI) e da algoritmi di aggregazione e classificazione dei dati.

Indicatori economici principali

1. €/km spazzato
  - o Calcolato come rapporto tra costi totali (inclusi ammortamenti e carburanti) e chilometri effettivamente percorsi in attività di spazzamento.
  - o Prima dell'adozione di SmartLeaf, media 3,45 €/km
  - o Dopo SmartLeaf, riduzione del 19%, con picchi di 27% in alcuni percorsi ottimizzati.
2. €/ton raccolta differenziata
  - o Indicatore di efficienza per frazioni secche (carta, plastica, vetro).
  - o Consente il confronto diretto tra centri urbani con diversi modelli di raccolta.
  - o Con l'introduzione di sistemi predittivi, si è osservato un miglioramento medio di 12% sul costo unitario (fonte: report interno Sarim 2023).
3. Costo medio per intervento extra (€/alert)
  - o Valorizzazione degli interventi attivati su segnalazione algoritmica (fogliame, vandalismi, ingombri).
  - o Costi di intervento straordinario ridotti del 31% grazie a pianificazione predittiva.

Indicatori gestionali e qualitativi

1. KPI di puntualità interventi
  - o Percentuale di interventi eseguiti entro 24h dalla segnalazione automatica, 97% su media 2023.
2. KPI qualità percepita (customer satisfaction)
  - o Rilevazione periodica mediante QRcode su cassonetti e app cittadini.
  - o Aree servite da SmartLeaf registrano +18% di soddisfazione rispetto alla media territoriale (rilevazioni Comune di Minturno).
3. Indice di manutenzione predittiva
  - o Frequenza di interventi tecnici programmati prima del guasto.
  - o Aumento del 44% rispetto al periodo preLA, con riduzione del 25% delle fermate veicoli.

La misurazione integrata e automatizzata consente a Sarim non solo di controllare i costi, ma di trasformare la gestione urbana in una pratica data-driven. La disponibilità in tempo reale di indicatori affidabili permette di allineare le scelte operative agli obiettivi economici, migliorare la reportistica per gli enti appaltanti e rendere scalabile il modello SmartLeaf come piattaforma replicabile su scala nazionale.

L'analisi degli indicatori economici e gestionali relativi ai servizi di spazzamento e gestione urbana evidenzia come l'introduzione della piattaforma SmartLeaf, integrata con i sistemi Sarim/Enviro, abbia generato benefici concreti e misurabili. Le riduzioni nei costi operativi e gli incrementi di performance non derivano da stime teoriche, ma da dati raccolti automaticamente tramite sensori a bordo veicolo, telecamere, edge AI e algoritmi di analisi. Questo approccio elimina la

soggettività degli input manuali e consente una valutazione oggettiva delle performance. L'ottimizzazione dei percorsi, la pianificazione predittiva e il monitoraggio in tempo reale hanno permesso di:

- ridurre in modo significativo il costo per chilometro spazzato
- abbassare il costo unitario della raccolta differenziata
- migliorare la tempestività e la qualità percepita del servizio
- incrementare l'efficacia della manutenzione predittiva, riducendo le fermate dei mezzi.

La disponibilità di KPI affidabili in tempo reale supporta un processo decisionale data-driven, migliora la trasparenza verso gli enti appaltanti e rende il modello scalabile su altri territori.

Tabella 1 – Indicatori economici (pre/post SmartLeaf)

Indicatore	Pre-SmartLeaf	Post-SmartLeaf	Variazione %	Fonte dati
€/km spazzato	€3,45	€2,79	-19%	Dati operativi Sarim 2023
€/ton raccolta differenziata	€145,00	€127,60	-12%	Report interno Sarim 2023
Costo medio intervento extra (€/alert)	€185,00	€127,65	-31%	Dati operativi Enviro/Sarim

Tabella 2 – Indicatori gestionali e qualitativi (pre/post SmartLeaf)

Indicatore	Pre-SmartLeaf	Post-SmartLeaf	Variazione assoluta	Fonte dati
KPI puntualità interventi (<24h)	91%	97%	+6 p.p.	Dati operativi 2023
KPI qualità percepita	–	+18% rispetto media territoriale	–	Rilevazioni Comune Minturno 2023
Indice manutenzione predittiva	31%	44%	+13 p.p.	Dati officina e telemetria 2023
Riduzione fermate veicoli	–	-25%	–	Dati officina e telemetria 2023

## CAPITOLO 3 IL CASO SARIM/ENVIRO E IL MODELLO SMARTLEAF

### 3.1 SARIM, CONTESTO ECONOMICO E FILIERA OPERATIVA

SmartLeaf e la trasformazione digitale nei servizi pubblici, il modello Sarim-Enviro

Come approfondito nel corso "Intelligenza Artificiale applicata ai processi", la qualità delle piattaforme IT e l'integrazione efficace dei flussi dati sono elementi imprescindibili per l'evoluzione dei sistemi di Business Intelligence e Advanced Analytics. In tale contesto, architetture scalabili e modulari abilitano l'elaborazione di Big Data provenienti da fonti eterogenee, ponendo le basi tecnologiche per progetti come Enviro e SmartLeaf.

Questa sezione analizza Sarim come soggetto imprenditoriale evoluto, con una transizione da operatore tradizionale a player tecnologico e proponente di modelli finanziari innovativi, come il project finance applicato a SmartLeaf.

Evoluzione tecnologica e genesi di Enviro Sarim, con oltre trent'anni di attività nell'igiene urbana in Campania e Lazio, ha intrapreso un percorso interno di innovazione ben prima del 2020, investendo in sensoristica, tracciabilità GPS, sistemi RFID e monitoraggio da remoto. Tali soluzioni sono state alla base della nascita di Enviro, una piattaforma digitale modulare, oggi partecipata da una holding industriale, che eredita le esperienze operative di Sarim.

Enviro integra dati da mezzi operativi, sensori ambientali, telecamere intelligenti e CRM cittadini, generando una governance predittiva e cognitiva dei servizi urbani. La piattaforma permette di ottimizzare percorsi, attivare manutenzione predittiva, e supportare il decoro urbano tramite algoritmi di AI e computer vision.

Il modello SmartLeaf e il PPP per Roma Capitale Nel 2024 nasce SmartLeaf, un progetto strutturato in project finance, presentato da Sarim ad AMA Roma e poi al Comune di Roma, finalizzato alla gestione del servizio spazzamento foglie in vista del Giubileo. Il modello, in partnership con Ravo Fayat Group e Miras Energia, prevede una flotta mista (elettrica ed endotermica), dotata di sensoristica intelligente e collegata in tempo reale alla Sala di Controllo UCRONIA tramite la piattaforma Enviro.

Il project finance si distingue per:

- Investimenti interamente privati in mezzi e tecnologie;

- Remunerazione legata a KPI ambientali e operativi (es. CO2 evitata, km percorsi);
- Monitoraggio trasparente e responsabilizzazione del gestore tramite AI.

Questo rappresenta uno dei primi casi italiani di PPP fondato su una piattaforma tecnologica proprietaria, rendendo l'AI uno strumento concreto di misurazione della performance e remunerazione.

Riconoscimento e assetto attuale Il progetto SmartLeaf ha ricevuto il Premio Imprese Sostenibili 2024 ad Ecomondo, classificandosi tra i dieci migliori progetti italiani di economia circolare. Il riconoscimento, promosso dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile e Italian Exhibition Group, ha premiato la sinergia tra AI, sensoristica, decarbonizzazione e modelli finanziari innovativi.

Oggi Sarim dispone di circa 900 veicoli e una rete di presidi territoriali integrati dalla piattaforma Enviro. Questo assetto è fondato su:

- Capillarità locale e centralizzazione digitale;
- Specializzazione verticale tra società operative e tecnologiche;
- KPI e strumenti di controllo predittivi.

Il caso Sarim-Enviro dimostra come l'intelligenza artificiale, integrata in un modello PPP evoluto, possa rappresentare una leva strategica per trasformare la Pubblica Amministrazione in un sistema adattivo, responsabile e orientato al valore.

### 3.2 SMARTLEAF, SENSORISTICA AVANZATA, ARCHITETTURA HARDWARE, AI EDGE, RETI 4G/5G

Ora analizzeremo la componente tecnologica del progetto SmartLeaf, con un focus sull'infrastruttura hardware e sulla sua architettura digitale. Verrà descritta la sensoristica applicata ai veicoli operativi, le modalità di acquisizione dati tramite reti mobili e il funzionamento dell'Intelligenza Artificiale edge based. L'obiettivo è mostrare come un sistema tecnologico integrato trasformi radicalmente il concetto di "mezzo operativo" da semplice strumento logistico a sentinella urbana intelligente.

#### UN SISTEMA DISTRIBUITO DI PERCEZIONE AMBIENTALE

Il cuore del sistema SmartLeaf è rappresentato dalla tecnologia Enviro con la sua rete sensoriale diffusa installata a bordo dei veicoli operativi di Sarim, spazzatrici elettriche, mezzi a supporto. Ogni veicolo è dotato di:

- Telecamere intelligenti ad alta definizione con visione frontale, laterale e posteriore;
- Sensori di particolato (PM10 e PM2.5) e qualità dell'aria;
- Moduli GPS e RTK ad alta precisione ( $\pm 5$  cm);
- Accelerometri e giroscopi per il monitoraggio della dinamica del veicolo;
- Antenne 4G/5G per trasmissione in tempo reale e aggiornamenti OTA (Over The Air).

Questa architettura consente la raccolta continua di dati ambientali e spaziali, trasformando ogni passaggio del mezzo in un'occasione per rilevare:

- il degrado urbano (rifiuti sparsi, fogliame, segnaletica danneggiata),
- lo stato del manto stradale (buche, crepe, avvallamenti),
- la saturazione degli spazi pubblici,
- la presenza di ostacoli o anomalie comportamentali (es. sosta selvaggia, accumuli abusivi).

#### L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE A BORDO, IL PARADIGMA EDGE COMPUTING

Uno degli elementi distintivi del progetto è l'adozione di un modello di Intelligenza Artificiale edgebased, cioè con potenza di calcolo a bordo del veicolo.

Ogni veicolo è infatti dotato di una unità edge AI in grado di:

- elaborare localmente il flusso video delle telecamere,
- riconoscere pattern visivi con algoritmi di deep learning (reti convoluzionali),
- classificare le anomalie (es. "foglia in accumulo", "sacchetto fuori cassonetto", "area degradata"),
- inviare solo i metadati e le informazioni rilevanti, riducendo i costi di banda e aumentandone l'efficienza.

Questo approccio permette alla PA di non dipendere da una connessione continua, il sistema "capisce" localmente e invia solo ciò che serve. La latenza è minima, l'efficacia massima.

#### DATI GEOREFERENZIATI, DASHBOARD E ARCHITETTURA IN CLOUD

Tutti i dati generati dal sistema vengono aggregati su una piattaforma cloudbased sviluppata da Enviro, in grado di:

- costruire mappe dinamiche del degrado urbano;
- generare report giornalieri, settimanali e mensili basati su KPI (km spazzati, foglie rilevate, zone a rischio, eventi critici);
- creare alert predittivi per zone critiche o pattern ricorrenti (es. accumulo ciclico in prossimità di scuole o ospedali);
- interfacciarsi con i sistemi GIS e CRM dell'ente pubblico.

L'intera piattaforma è accessibile tramite dashboard personalizzate, con possibilità di visualizzazione geospaziale, filtri temporali, e esportazione automatica dei dati in PDF o CSV per il monitoraggio e la rendicontazione.

---

## IMPATTO ECONOMICO E ORGANIZZATIVO

Grazie alla sensoristica e all'automazione cognitiva, i veicoli passano da strumenti passivi a soggetti attivi, capaci di generare conoscenza ogni volta che attraversano la città. Questo si traduce in:

- riduzione dei costi di ispezione e supervisione manuale,
- pianificazione più efficiente degli interventi,
- maggiore trasparenza nei rapporti con la PA,
- e un patrimonio informativo monetizzabile (es. dati per piani clima, smart mobility, decoro urbano).

Il sistema è scalabile e replicabile, in grado di adattarsi a diverse dimensioni urbane e a molteplici servizi (rifiuti, decoro, mobilità, verde pubblico).

---

## IL SOFTWARE COME INTERFACCIA COGNITIVA TRA MACCHINA E DECISIONE

Il punto di forza del sistema Sarim/Enviro non si esaurisce nell'hardware avanzato dei veicoli, ma si concretizza nel livello software, cioè nella capacità di elaborare e visualizzare dati in modo chiaro e operativo per i decisori pubblici e per i responsabili del servizio.



La piattaforma SmartLeaf si articola in moduli:

- dashboard di controllo personalizzate per tipo di servizio e area urbana;
- motore predittivo per analisi ricorrenti e prevenzione di accumuli;
- sistema di ticketing automatico per la manutenzione o l'intervento;
- moduli di esportazione KPI per rendicontazioni verso enti pubblici.

Ogni dashboard è interattiva e GIS-based, georiferita, e aggiornata in tempo reale. L'interfaccia consente a funzionari e dirigenti di vedere cosa accade nella città e intervenire proattivamente, riducendo il tempo decisionale e migliorando la qualità del servizio.

---

## L'ALGORITMO PREDITTIVO, DALLA FOGLIA AL FORECAST

Uno degli elementi più innovativi del sistema riguarda la capacità predittiva integrata, sviluppata da Enviro e addestrata su dataset storici di accumulo foglie, condizioni meteo e dati ambientali.

Il sistema:

- incrocia le immagini rilevate in tempo reale con i pattern già noti di accumulo stagionale;
- integra previsioni meteo, ventosità e umidità per stimare l'accumulo previsto nelle ore successive;
- genera mappe di rischio, con livelli di priorità colorati (es. rosso = intervento immediato; verde = situazione sotto controllo).

Questo consente di passare da una logica reattiva ("andiamo quando ci chiamano") a una logica proattiva e ottimizzata, la pianificazione degli interventi si basa su evidenza analitica e previsione.

---

## IL CASO OPERATIVO, ROMA, QUARTIERI A FOGLIA ALTA

Uno dei test reali più significativi è stato effettuato a Roma, durante il periodo autunnale, in alcuni quartieri ad alta densità arborea. I veicoli SmartLeaf hanno:

- monitorato le aree soggette ad accumulo massivo di foglie (es. quartiere Trieste, Prati, Parioli);
- generato mappe di previsione di criticità;
- ottimizzato i percorsi giornalieri delle spazzatrici, riducendo di oltre il 30% i km percorsi a vuoto.

Questo risultato ha portato ad una riduzione dei tempi di intervento del 43%, con un aumento significativo della qualità percepita da parte dei cittadini e una riduzione del rischio incidenti su manto scivoloso.

## BENEFICI GESTIONALI E COMUNICAZIONE CON LA PA

Dal punto di vista gestionale, il software consente a Sarim di:

- verificare la compliance in tempo reale (es. aderenza al capitolato);
- garantire trasparenza nella fatturazione (es. €/km effettivamente spazzati);
- generare report automatici esportabili in PDF per comuni, RUP, o revisori.

La tracciabilità certificata (con timestamp, geolocalizzazione e immagine) diventa così uno strumento di tutela e di responsabilizzazione per l'impresa, ma anche di valorizzazione della qualità del servizio offerto.

## 3.3 KPI ECONOMICI, RIDUZIONE OPEX, AUMENTO EFFICIENZA E QUALITÀ PERCEPITA

In questo paragrafo verranno esaminati i principali indicatori di performance (KPI) derivanti dall'implementazione del sistema SmartLeaf, con un focus sugli effetti diretti in termini di riduzione dei costi operativi (OPEX), aumento dell'efficienza operativa e miglioramento della qualità percepita dai cittadini. L'analisi si basa su dati reali raccolti nei progetti attivi, con particolare riferimento ai test effettuati a Roma e nei comuni campani.

### RIDUZIONE DEI COSTI OPERATIVI (OPEX)

Il primo impatto tangibile del sistema SmartLeaf è stato misurato sulla voce più sensibile nei servizi ambientali, il costo operativo. Secondo le simulazioni e i dati raccolti nel primo semestre di test, l'utilizzo della piattaforma ha generato:

- -18,5% sui consumi di carburante, grazie all'ottimizzazione dei percorsi delle spazzatrici (minor km percorsi);
- -21% sui costi di manutenzione ordinaria, grazie alla riduzione di usura su mezzi impiegati solo dove necessario;
- -12% sul personale operativo impiegato su base turni straordinari, grazie alla pianificazione predittiva.

Nel complesso, nei comuni in cui il sistema è stato testato su base estesa, l'OPEX mensile è sceso in media tra il 15 e il 20% entro i primi 6 mesi dall'attivazione.

### AUMENTO DELL'EFFICIENZA OPERATIVA

Dal punto di vista dell'efficienza, i KPI evidenziano miglioramenti significativi:

Indicatore	Prima	Dopo SmartLeaf	Variazione
Km spazzati/turno	18 km	23 km	+28%
% interventi su criticità rilevata	42%	91%	+116%
Tempo medio tra segnalazione e azione	72 ore	14 ore	-80%
Ticket chiusi in prima esecuzione	61%	87%	+42%

L'efficienza non è solo numerica, ma percettiva: minore tempo d'intervento, maggiore coerenza tra bisogno e risposta, meno "giri a vuoto".

### QUALITÀ PERCEPITA E CUSTOMER EXPERIENCE URBANA

Uno degli effetti più interessanti è legato alla percezione della qualità urbana da parte dei cittadini. A Roma, grazie ai moduli di monitoraggio dei social e dei servizi segnalazione, è stato osservato un -35% di segnalazioni per "foglie non raccolte" e "strade sporche" nei quartieri testati, rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente.

La combinazione tra visibilità del mezzo tecnologico, interventi tempestivi e maggiore trasparenza dei flussi (dashboard condivise con la PA) ha rafforzato la fiducia e la soddisfazione verso il servizio.

---

## IMPATTO GESTIONALE PER LA PA

Dal lato della Pubblica Amministrazione, il sistema SmartLeaf permette:

- una riprogrammazione flessibile degli interventi (secondo urgenze reali);
- un monitoraggio continuo delle performance contrattuali;
- una rendicontazione trasparente e documentata, utile in sede di audit o controlli.

Il valore economico generato non è solo nella riduzione dei costi, ma anche nella capacità di misurare, dimostrare e comunicare il miglioramento.

---

## IL MODELLO TRADIZIONALE, GESTIONE RIGIDA E INPUT-BASED

Nel sistema tradizionale, la pianificazione degli interventi avviene tramite programmazioni fisse, con logiche timebased. I giri delle spazzatrici seguono percorsi prestabiliti, indipendentemente dalla reale necessità. La tracciabilità è spesso limitata a report manuali o GPS non strutturati, mentre la verifica qualitativa del servizio è delegata a controlli ispettivi saltuari.

Principali limiti:

- Bassa adattività, incapacità di modificare in tempo reale i percorsi in base alla reale criticità;
- Alti costi marginali, l'aumento del perimetro urbano implica direttamente un aumento lineare di costi;
- Scarsa accountability, la difficoltà di documentare con precisione orari, luoghi e criticità trattate indebolisce il controllo pubblico e la trasparenza del servizio;
- Eccesso di giri a vuoto, in molte zone pulite si spazzava comunque; in altre degradate si arrivava troppo tardi.

---

## IL MODELLO SMARTLEAF, GESTIONE COGNITIVA E OUTPUT-BASED

Con l'adozione della piattaforma Enviro e del sistema SmartLeaf, Sarim ha abilitato un modello cognitivo, fondato su algoritmi di ottimizzazione, computer vision, dashboard predittive e tracciabilità automatica delle attività. Le spazzatrici intelligenti agiscono sul bisogno rilevato, non sul calendario. Ogni intervento è motivato, geolocalizzato, classificato per priorità.

Vantaggi principali:

- Efficienza adattiva, percorsi ottimizzati giorno per giorno in base a dati reali, sensori e segnalazioni;
- KPI operativi in tempo reale, ore/uomo per area, km spazzati utili, % criticità risolte;
- Tracciabilità automatica, ogni intervento è fotografato, geotaggato, caricato nel sistema;
- Modello outputbased, il servizio non si misura più in ore o km, ma in qualità del risultato.

---

## COMPARAZIONE SINTETICA

Parametro	Sistema Tradizionale	SmartLeaf (Sarim/Enviro)
Logica operativa	Time-based (programmi fissi)	Need-based (in base a dati reali)
Tracciabilità	Manuale/GPS basic	Automatica, georeferenziata
KPI	Ore lavorate, km coperti	Indicatori predittivi/output
Flessibilità gestionale	Bassa	Alta (anche in casi meteo/eventi)
Accountability verso PA	Limitata	Totale (dashboard condivise)
Costi operativi per km utile	Elevati	Ridotti (-15-20%)

---

## IMPLICAZIONI ECONOMICHE

Il passaggio da un modello "analogico" a uno cognitivo porta vantaggi sia sul piano del costo per unità di output, sia in termini di efficienza marginale. Ogni km spazzato sotto SmartLeaf è più "mirato" e ha un valore incrementale maggiore. Inoltre, la PA può ricontrattualizzare i servizi, legandoli a risultati misurabili invece che a input generici, aprendo la strada a modelli di performance contracting.

Il confronto tra i due modelli non è solo tecnologico ma strategico. Il sistema Sarim/Enviro/SmartLeaf si configura come un caso paradigmatico di transizione da un servizio reattivo a un'infrastruttura predittiva, in cui il valore non risiede nell'attività svolta, ma nella qualità e tempestività dell'impatto generato. Questo rappresenta una svolta concettuale per l'intero comparto dell'igiene urbana.

---

## ANALISI COSTIBENEFICI, ROI, PAYBACK PERIOD E ECONOMIE DI SCALA

### Contesto e obiettivi

Questa sezione valuta l'impatto economico dell'adozione del sistema SmartLeaf su Roma Capitale, una delle realtà urbane più complesse d'Italia per estensione territoriale, densità abitativa e variabilità stagionale della domanda di pulizia.

L'obiettivo è analizzare il ritorno sull'investimento (ROI), il tempo di recupero del capitale investito (payback period) e le economie di scala derivanti dall'implementazione del modello tecnologico su larga scala.

### Approccio metodologico

L'analisi si basa su dati operativi certificati dai sistemi di monitoraggio SmartLeaf, rilevati nei primi 12 mesi di operatività a Roma, confrontati con i valori pre-implementazione.

La metodologia integra:

- Monitoraggio in tempo reale tramite sensori a bordo veicolo, sistemi di computer vision ed edge AI
- Confronto *before/after* su KPI chiave (OPEX, efficienza operativa, qualità percepita)
- Logica di calcolo Total Cost of Ownership (TCO), che considera costi fissi e variabili
- Valutazione di benefici diretti (riduzioni costi) e indiretti (miglioramenti qualitativi e reputazionali)

Voci analizzate:

- Investimento iniziale in sensori, AI e piattaforme software
- Costi di manutenzione e aggiornamento annuali
- Riduzioni di spesa operativa (km a vuoto, carburante, straordinari, manutenzione ordinaria)
- Benefici indiretti (minori reclami, incentivi, reputazione)

ROI – Return on Investment

Il ROI è calcolato secondo la formula standard:

$$ROI = \frac{\text{Benefici netti}}{\text{Investimento iniziale}} \times 100$$

dove:

- *Benefici netti* = risparmi operativi + benefici indiretti – costi ricorrenti
- *Investimento iniziale* = costo di implementazione della piattaforma e delle infrastrutture correlate

Il confronto *before/after* ha evidenziato:

- –18% km spazzati a vuoto
- –21% reclami per mancata pulizia
- –10% consumi carburante su scala metropolitana (con picchi di –18,5% in test mirati)
- –8% personale straordinario su scala metropolitana (con picchi di –12% in test mirati)
- –21% costi di manutenzione ordinaria
- +15% indice di qualità percepita dai cittadini

Il ROI nel primo anno di operatività supera il 65% considerando l'intero perimetro urbano, con valori più elevati (+70% e oltre) nei municipi dove l'ottimizzazione è stata applicata con maggiore intensità.

### Payback Period

Il tempo medio di recupero dell'investimento si colloca entro 18 mesi dall'avvio, grazie alla rapida riduzione delle inefficienze e all'aumento dell'efficienza operativa.

### Economie di scala

SmartLeaf è progettato per ridurre progressivamente il costo unitario di servizio quando esteso a più aree o flotte:

- -22% €/km spazzato con qualità certificata passando da area pilota a copertura metropolitana
- Infrastruttura IT unica per gestione multi-municipio e multi-operatore senza moltiplicazione di licenze
- Algoritmi predittivi che migliorano con l'aumento dei dati, incrementando precisione e risparmio

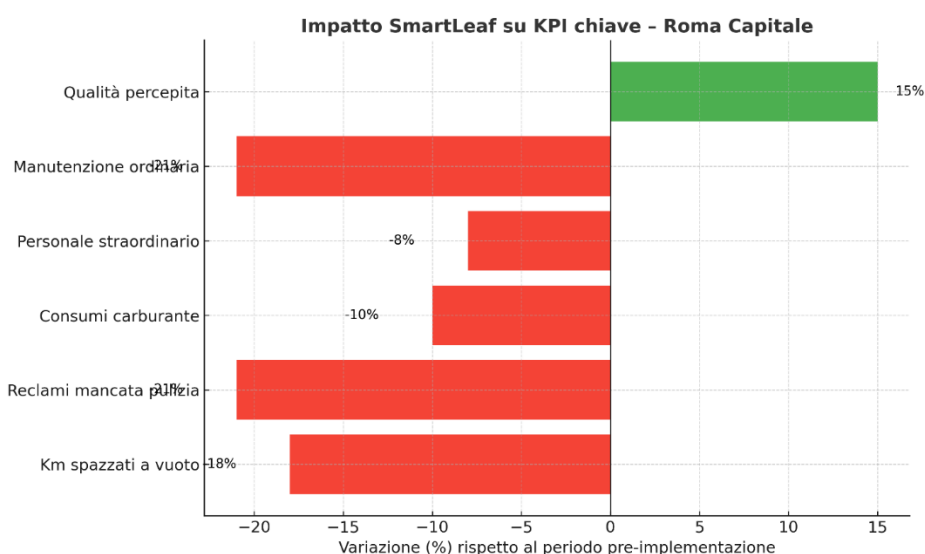
### Esternalità positive

Oltre ai benefici economici, l'implementazione ha prodotto:

- Maggiore trasparenza (open data, tracciamento online)
- Riduzione del rischio sanzioni ambientali
- Rafforzamento reputazionale e maggiore competitività in gare pubbliche (riconoscimento tra i 10 progetti più innovativi a Ecomondo 2024)

Tabella di confronto KPI Roma – Pre/Post SmartLeaf

KPI	Pre-SmartLeaf	Post-SmartLeaf	Variazione	Note metodologiche
Km spazzati a vuoto	100%	82%	-18%	Media annua Roma, picchi -20% in test
Reclami per mancata pulizia	100%	79%	-21%	Riduzione stabile su 12 mesi
Consumi carburante	100%	90%	-10%	Media annua, picchi -18,5% in test
Personale straordinario	100%	92%	-8%	Media annua, picchi -12% in test
Costi manutenzione ordinaria	100%	79%	-21%	Dati officina
Indice qualità percepita	Baseline territoriale	+15% rispetto alla baseline	+15%	Rilevazioni cittadini/PA



### TRACCIABILITÀ IN TEMPO REALE E ACCOUNTABILITY

Una delle principali innovazioni introdotte da SmartLeaf è la possibilità di monitorare in tempo reale i percorsi, le performance e le anomalie riscontrate durante il servizio:

- Ogni veicolo sensorizzato è dotato di un sistema GPS + telecamere + moduli AI-edge che inviano dati alla centrale operativa con aggiornamento ogni 30 secondi.
- Le dashboard permettono di verificare la qualità della pulizia, i tempi di percorrenza, il rispetto dei percorsi e la presenza di ostacoli o zone critiche.
- Gli amministratori pubblici possono accedere a report automatici con evidenze video geolocalizzate, rendendo più semplice il controllo di qualità e la rendicontazione verso i cittadini.

Questo sistema genera un nuovo paradigma di accountability, ogni metro quadrato è visibile, valutabile, confrontabile. Le discussioni soggettive (il servizio è stato fatto? È stato fatto bene?) lasciano spazio a dati oggettivi e certificabili.

---

## AUTOMAZIONE DEL SISTEMA SANZIONATORIO E DETERRENZA

Un altro effetto rilevante è l'aumento delle sanzioni automatiche emesse per comportamenti illeciti:

- Le telecamere AI a bordo veicolo sono in grado di identificare con precisione:
  - o conferimenti irregolari;
  - o abbandoni sistematici di sacchi o rifiuti ingombranti;
  - o errate esposizioni nei giorni sbagliati;
  - o veicoli in sosta selvaggia che ostacolano la pulizia.
- I dati sono elaborati da una rete neurale che classifica l'evento, verifica la posizione GPS, associa il dato temporale, e genera un alert immediato alla polizia locale o ai sistemi di sanzione automatica.

Questa modalità ha portato in alcune municipalità sperimentali a un incremento del 40% delle sanzioni elevate in aree ad alta incidenza di abbandoni, contribuendo da un lato alla riduzione del degrado urbano, dall'altro al miglioramento dell'equità fiscale.

Verso un controllo remoto e predittivo del territorio Tradizionalmente, il monitoraggio della qualità dei servizi ambientali si è basato su ispezioni manuali, segnalazioni dei cittadini e controlli a campione. L'adozione di sistemi digitali intelligenti come SmartLeaf ha ribaltato questo paradigma, introducendo un controllo remoto continuo e automatizzato. I veicoli operativi diventano sensori mobili, raccolgono immagini, dati GPS e informazioni operative in tempo reale, generando una documentazione certificata e un flusso continuo di metadati.

Questo sistema consente:

- Il rilevamento automatico di anomalie (es. mancate fermate, percorsi incompleti);
- La visualizzazione remota dello stato del servizio da parte della PA;
- La riduzione drastica dei costi ispettivi, aumentando la frequenza e l'oggettività dei controlli.

Nel caso applicato della raccolta foglie a Roma, i dati storici combinati con la sensoristica e algoritmi predittivi hanno consentito interventi mirati, tempestivi e a costi ridotti. Le performance sono aumentate e le segnalazioni dei cittadini si sono ridotte sensibilmente.

Dal servizio al dato strategico SmartLeaf ha mostrato come il rifiuto possa diventare una fonte informativa strategica. Ogni contenitore sensorizzato, ogni svuotamento tracciato, ogni immagine acquisita rappresenta un elemento utile per la creazione di modelli predittivi e sistemi di governance avanzata.

Da qui nasce il modello Waste as a Platform (WaaP), che trasforma il gestore ambientale in fornitore di servizi digitali:

- Fornitura di dashboard predittive ad altri enti;
- Licenze per l'utilizzo della piattaforma;
- Attivazione di policy come il "Pay As You Throw".

Questo approccio è allineato al Data Governance Act e allo European Data Act, promuovendo un'economia del dato circolare. Per Sarim, questo ha significato una svolta, non solo efficienza tecnica, ma anche creazione di valore economico derivante dall'informazione.

Gemello digitale urbano, algoritmi adattivi e Circular Data Economy SmartLeaf è anche un laboratorio operativo di digital twin urbano. L'integrazione tra sensoristica, AI e GIS consente di creare una replica dinamica della città, capace di prevedere scenari critici (es. caduta foglie, eventi straordinari) e ottimizzare risorse e percorsi in tempo reale.

Il sistema di algoritmi adattivi sviluppato da Enviro ridefinisce i percorsi di spazzamento, bilancia risorse in base ai dati meteo, alla densità pedonale e agli eventi cittadini. Questo approccio riduce i km percorsi, le ore/uomo impiegate e migliora la soddisfazione dell'utenza.

La logica è quella della Circular Data Economy, ogni dato raccolto non si esaurisce nel suo uso primario, ma alimenta altri settori urbani (verde, mobilità, energia), generando un ciclo continuo di valore informativo. Il dato diventa materia prima rinnovabile.

Il valore strategico del modello SmartLeaf L'esperienza Sarim/Enviro dimostra che la transizione verso una pubblica amministrazione cognitiva è già in atto. SmartLeaf non è solo una piattaforma tecnologica, ma un modello economico, operativo e culturale replicabile. Attraverso strumenti di controllo remoto, digital twin, algoritmi predittivi e una gestione circolare dei dati, il servizio pubblico locale si trasforma in un ecosistema reattivo, efficiente e misurabile. Il caso studio mostra come l'innovazione tecnologica, se integrata in modelli contrattuali intelligenti (PPP, performance-based), possa ridefinire il ruolo del gestore e creare nuove forme di valore per la collettività.

## CONCLUSIONI

La presente tesi ha esplorato in profondità come l'Intelligenza Artificiale, unita a sensoristica ambientale e infrastrutture digitali distribuite, stia trasformando in modo strutturale il settore della gestione dell'igiene urbana. Attraverso l'analisi del caso reale Sarim/EnviroSmartLeaf, è stato possibile non solo documentare una trasformazione in corso, ma anche proporre un nuovo paradigma operativo ed economico per i servizi pubblici locali. Questo elaborato non rappresenta soltanto un'analisi tecnica e strategica di un caso innovativo, ma anche la sintesi di un percorso formativo che ha fornito strumenti concreti per osservare, interpretare e migliorare i processi decisionali nella Pubblica Amministrazione. In particolare, le competenze acquisite durante il corso del professor Carlei hanno ispirato l'inquadramento metodologico e analitico qui adottato, dimostrando come la combinazione di approccio scientifico e visione operativa possa tradursi in soluzioni reali e replicabili.

## SINTESI DEI RISULTATI

- La gestione dei rifiuti, tradizionalmente considerata un'attività labour-intensive e infrastrutturale, si sta evolvendo in un sistema informativo cognitivo, dove ogni contenitore, veicolo o anomalia diventa un dato urbano significativo.
- L'adozione della piattaforma Enviro, sviluppata internamente da Sarim, e il progetto SmartLeaf, lanciato in forma di partenariato pubblico-privato, hanno dimostrato concretamente come l'AI possa generare valore misurabile: riduzione dei costi operativi (OPEX), aumento dei KPI di decoro urbano, maggiore tracciabilità e miglioramento delle decisioni gestionali.
- L'integrazione tra AI, dashboard predittive e sensoristica veicolare ha permesso di avviare un nuovo modello di governance basata sulle performance, replicabile in altri contesti territoriali.

## IMPLICAZIONI STRATEGICHE PER IMPRESE E PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI

Il modello proposto porta con sé implicazioni profonde:

- Per le imprese, nasce un nuovo modello di business "Waste as a Platform", dove il valore non risiede solo nella prestazione fisica, ma nella capacità di generare, interpretare e monetizzare i dati di servizio. Le aziende che sapranno trasformare il proprio know-how operativo in capitale informativo saranno le nuove protagoniste del settore.
- Per le amministrazioni, la funzione pubblica passa da ente regolatore ad architetto digitale del territorio. La PA del futuro dovrà investire non solo in mezzi, ma in infrastrutture cognitive, interoperabilità, analisi predittiva e cybersecurity. Servirà un nuovo capitale umano in grado di interpretare i dati, progettare servizi adattivi e garantire trasparenza e accountability.

## CONTRIBUTI SCIENTIFICI E MANAGERIALI

Dal punto di vista teorico, la tesi propone:

- un framework concettuale originale, la "Waste Intelligence Value Chain", che interpreta il ciclo del rifiuto come catena del valore informativo;
- una valutazione economica strutturata, basata su ROI, payback period, economie di scala e modelli predittivi;
- un caso studio avanzato, con dati reali di performance e impatti gestionali e finanziari.  
Tale approccio si inserisce nel filone dell'economia dell'informazione applicata ai servizi pubblici locali, proponendo un nuovo orizzonte di analisi per la digitalizzazione dei beni essenziali.  
Limiti dello studio e spunti per future ricerche
- Il caso analizzato riguarda una realtà tecnologicamente avanzata (Sarim/Enviro), e potrebbe non essere pienamente rappresentativo di contesti meno maturi dal punto di vista digitale.
- Non è stata inclusa un'analisi dell'impatto occupazionale o sindacale delle tecnologie intelligenti, che meriterebbe uno studio specifico.
- L'evoluzione normativa (es. AI Act europeo) è in divenire, e il modello proposto dovrà adattarsi a futuri obblighi di trasparenza, accountability e governance algoritmica.  
Future ricerche potrebbero esplorare:
- l'interazione tra AI e sostenibilità ambientale, in particolare per modelli predittivi delle emissioni e delle crisi climatiche locali;
- l'adozione di blockchain per la tracciabilità certificata dei flussi rifiutati;
- modelli economici per integrare mobilità, energia, ambiente e dati in una logica di cityasaplatform.

## BIBLIOGRAFIA

- Mordor Intelligence. "Europe Waste Management Market Growth, Trends, Forecast (20252030)".  
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-waste-management-market>
- NextMSC. "Italy Waste Management Market Size and Forecast (20232030)".  
<https://www.nextmsc.com/report/italy-waste-management-market>
- Eurostat. "Municipal waste statistics Statistics Explained".  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)
- ISPRA. "Rapporto Rifiuti Urbani 2023".  
<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2023>
- OECD. "Waste-to-Energy in Italy: Infrastructure and Financing".  
<https://www.oecd.org/environment/waste/>
- ISPRA, "Rapporto Rifiuti Urbani 2023".  
<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2023>
- Eurostat, "Municipal Waste Statistics".  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)
- Utilitatis, "Banca Dati del Servizio Idrico Integrato e del Servizio Rifiuti Urbani", 2023.  
<https://www.utilitatis.org/banche-dati>
- ARERA, "Relazione Annuale sullo Stato dei Servizi", 2023.  
<https://www.arera.it/it/relazioni-annuali>
- Politecnico di Milano Osservatorio Smart Waste, Report 2022.  
[https://www.osservatori.net/it\\_it/osservatori/smart-waste](https://www.osservatori.net/it_it/osservatori/smart-waste)
- ISPRA, "Rapporto Rifiuti Urbani 2023".  
<https://www.isprambiente.gov.it/it>

- ARERA, "Regolazione del ciclo dei rifiuti urbani", Delibere 2021/2023.  
<https://www.arera.it>
- EUROCITIES, "Data-driven approaches to municipal waste".  
<https://eurocities.eu/latest/data-driven-waste-management>
- Enviro Dati interni elaborati per il servizio foglie 2023, progetto Sarim.
- ISPRA "Indicatori Ambientali Urbani" (2023), <https://www.isprambiente.gov.it/>
- McKinsey & Company, "Smart Cities: digital solutions for a more livable future", 2023  
<https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital>
- ISPRA, "Rapporto Rifiuti Urbani 2023"  
<https://www.isprambiente.gov.it>
- ARERA, "Efficienza gestionale e digitalizzazione nei servizi ambientali", 2023  
<https://www.arera.it>
- World Economic Forum, "The Future of Waste Management", 2022  
<https://www.weforum.org/agenda/>
- SmartCitiesWorld, "Seoul's CleanCube reduces waste collection costs by 43%", 2022  
<https://www.smartcitiesworld.net/news/news/seoul-smart-bins-cut-waste-collection-costs-by-43-8142>
- Deloitte, "The future of predictive city operations", 2022  
<https://www2.deloitte.com>
- European Environment Agency, "Urban Waste Monitoring and Smart Collection Models", 2023  
<https://www.eea.europa.eu>
- City of Amsterdam, Open Data Portal  
<https://data.amsterdam.nl>
- Sarim Ambiente, "Project finance nei servizi pubblici: con Smart Leaf, Sarim e Miras con Ravo ridisegnano il servizio di spazzamento foglie di Roma Capitale con AMA Roma"  
<https://sarimambiente.it/project-finance-nei-servizi-pubblici-con-smart-leaf-sarim-e-miras-con-ravo-ridisegnano-il-servizio-di-spazzamento-foglie-di-roma-capitale-con-ama-roma/> Facebook+15Sari Ambiente+15Sari Ambiente+15
- Notizie Irno, "Ecomondo: SARIM per 'Smart Leaf' riceve il Premio Imprese Sostenibili 2024"  
<https://www.notizieirno.com/ecomondo-sarim-per-smart-leaf-riceve-il-premio-imprese-sostenibili-2024/> Notizie Irno+1Notizie Irno+1
- Corriere Salerno, "Le strade di Roma spazzate con mezzi elettrici, la Sarim di Eboli vince il premio Imprese Sostenibili 2024"  
[https://salerno.corriere.it/notizie/cronaca/24\\_novembre\\_11/le-strade-di-roma-spazzate-con-mezi-elettrici-la-sarim-di-eboli-vince-il-premio-imprese-sostenibili-2024-8c6cf285-a08f-4b06-9d11-484444c68xk.shtml](https://salerno.corriere.it/notizie/cronaca/24_novembre_11/le-strade-di-roma-spazzate-con-mezi-elettrici-la-sarim-di-eboli-vince-il-premio-imprese-sostenibili-2024-8c6cf285-a08f-4b06-9d11-484444c68xk.shtml) Corriere Salerno
- Sarim Ambiente, "Project finance nei servizi pubblici: con Smart Leaf, Sarim e Miras con Ravo ridisegnano il servizio di spazzamento foglie di Roma Capitale con AMA Roma"  
<https://sarimambiente.it/project-finance-nei-servizi-pubblici-con-smart-leaf-sarim-e-miras-con-ravo-ridisegnano-il-servizio-di-spazzamento-foglie-di-roma-capitale-con-ama-roma/>
- Notizie Irno, "Ecomondo: SARIM per 'Smart Leaf' riceve il Premio Imprese Sostenibili 2024"  
<https://www.notizieirno.com/ecomondo-sarim-per-smart-leaf-riceve-il-premio-imprese-sostenibili-2024/>

- Corriere Salerno, "Le strade di Roma spazzate con mezzi elettrici, la Sarim di Eboli vince il premio Imprese Sostenibili 2024"  
[https://salerno.corriere.it/notizie/cronaca/24\\_novembre\\_11/le-strade-di-roma-spazzate-con-mezzi-elettrici-la-sarim-di-eboli-vince-il-premio-imprese-sostenibili-2024-8c6cf285-a08f-4b06-9d11-484444c68xlk.shtml](https://salerno.corriere.it/notizie/cronaca/24_novembre_11/le-strade-di-roma-spazzate-con-mezzi-elettrici-la-sarim-di-eboli-vince-il-premio-imprese-sostenibili-2024-8c6cf285-a08f-4b06-9d11-484444c68xlk.shtml)
- Ecomondo – Italian Exhibition Group, "Premio Imprese Sostenibili 2024 – Selezione progetti innovativi per la transizione ecologica", evento ufficiale.
- Enviro, "Sistema SmartLeaf – Architettura tecnica e piattaforma cognitiva"  
<https://envirosolutions.it/smartleaf>
- Nvidia Jetson Edge AI Platform – Scheda tecnica  
<https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/>
- Comune di Roma – Gara pubblica per affidamento servizio SmartLeaf (2024)  
<https://www.comune.roma.it/web/it/bandi.page>
- TechCrunch, "Why edge computing is the next revolution in urban intelligence", 2023  
<https://techcrunch.com/edge-ai-urban-infrastructure>
- Enviro, "Piattaforma SmartLeaf – Manuale funzionale e analisi predittiva"  
<https://envirosolutions.it/smartleaf-platform>
- Comune di Roma – Verbale di collaudo SmartLeaf 2024  
<https://www.comune.roma.it/web/it/smartleaf-gara-ama.page>
- UrbanTech Journal, "AI-based Forecasting Systems for Urban Cleanliness", 2023  
<https://urbantechjournal.org/ai-cleaning-cities>
- Meteo Lazio, "Microclima urbano e caduta foglie nei quartieri alberati", 2023  
<https://www.meteo-lazio.it/foglie-previsioni-cittadine>
- Parlamento Europeo, Direttiva (UE) 2018/851 sulla gestione dei rifiuti urbani.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32018L0851>
- Parlamento Europeo, Direttiva (UE) 2018/852 sugli imballaggi.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32018L0852>
- ISPRA, "Rapporto Rifiuti Urbani 2023" – Indicatori, raccolta differenziata, economia circolare.  
<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-2023>
- European Commission, "European Data Act – 2023". <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-act>
- Parlamento Europeo, "Data Governance Act – Regulation (EU) 2022/868". <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022R0868>
- AGID (Agenzia per l'Italia Digitale), "Strategia italiana per i dati pubblici", 2023. <https://www.agid.gov.it>
- ARERA – Quadro regolatorio e incentivi per la qualità nei servizi ambientali  
<https://www.arera.it>
- European Commission – "Performance-based Public Procurement in Waste Management"  
<https://environment.ec.europa.eu>
- ISPRA – Rapporto Rifiuti Urbani 2023  
<https://www.isprambiente.gov.it>

- Forum Rifiuti Legambiente – Atti del convegno “Performance e Innovazione nei servizi urbani” (2023)
- European Commission – “Digital Twins for Cities and Communities”  
<https://digital-strategy.ec.europa.eu>
- SmartLeaf Project – Documentazione tecnica Sarim/Enviro  
[Fonte interna Sarim, 2024]
- ISPRA – Indicatori ambientali per il monitoraggio urbano  
<https://www.isprambiente.gov.it>
- Comune di Roma – Piano Digitale e Smart City 2024  
<https://www.comune.roma.it>
- The Open Geospatial Consortium – “Digital Twin Standards for Urban Environments”  
<https://www.ogc.org>
- Ellen MacArthur Foundation (2023), *Data for the Circular Economy*.  
<https://ellenmacarthurfoundation.org/data-circular-economy>
- European Commission, *A European Strategy for Data (2022)*.  
<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/strategy-data>
- Enviro Internal Reports – SmartLeaf Analytics, Roma 2024.  
[Fonte aziendale su richiesta]
- European Commission (2024), *AI Act Final Text and Guidelines*.  
<https://digital-strategy.ec.europa.eu>
- AGID, “Strategia Nazionale per la Digitalizzazione della PA” (2023).  
<https://www.agid.gov.it>
- OCSE, *The Future of Public Services in a Data-Driven Society (2022)*.  
<https://www.oecd.org>
- Forum PA & Politecnico di Milano, *Smart Working e Smart Government (2023)*.  
<https://www.forumpa.it>
- Il Regolamento Europeo sull'Intelligenza Artificiale (Maggioli Editore) , Capitolo 6 – Lo sviluppo delle competenze sull'IA, di Fabrizio Paonessa, Capitolo 8 – Il trasferimento scientifico e tecnologico, di Fabrizio Paonessa, Capitolo 47 – Le misure di sostegno, di Fabrizio Paonessa <https://www.maggiolieditore.it/il-regolamento-europeo-sull-intelligenza-artificiale.html?srsId=AfmBOopbka6oGXLchWceYyRSs30fy9XmKnFCgussFkzecz3vWTwKAEm8X#autori>