



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Ingegneria Gestionale

A.a. 2025/2026

Sessione di laurea Marzo 2026

**Logistica e home delivery
farmaceutico - Il caso della
Fondazione FARO**

Relatori:

Prof. Carlo Rafele

Prof. Fabio Salassa

Candidata:

Rachele Dottarelli

La crescente diffusione di modelli sanitari “di prossimità” rende la logistica un fattore abilitante per garantire continuità terapeutica, qualità percepita e sostenibilità dei servizi. L’ospedale viene progressivamente ridefinito come luogo deputato alla gestione delle fasi acute, della complessità clinica e della diagnosi, mentre al territorio è affidato un ruolo sempre più centrale nella gestione della cronicità, della fragilità e dei bisogni assistenziali di lungo periodo. Tra le traiettorie evolutive della logistica cosiddetta “healthcare”, la diffusione di modelli di *home delivery* e *home caring* evidenzia una trasformazione che richiede non solo un adeguamento del quadro normativo, ma anche una collaborazione efficace tra settore pubblico e operatori privati. Nel contesto delle Cure Palliative, il coinvolgimento di enti del Terzo Settore rappresenta già un elemento strutturale delle reti di servizi e la domiciliarità trova una delle sue applicazioni più consolidate.

In questo quadro si colloca la presente tesi, che analizza e ottimizza l’*home delivery* farmaceutico della Fondazione FARO, ente non profit specializzato nelle cure palliative e operante a Torino. Dall’analisi del servizio emergono criticità tipiche di un contesto caratterizzato da risorse limitate e da una forte dipendenza dal volontariato: bassa standardizzazione procedurale, variabilità delle performance e assenza di modelli decisionali definiti e di strumenti a supporto dei processi. L’obiettivo del presente lavoro è progettare e realizzare uno strumento di pianificazione logistica in grado di automatizzare l’assegnazione delle consegne giornaliere e il routing dei veicoli, coerentemente con le priorità operative della Fondazione. Il servizio viene formulato come un problema di instradamento multi-veicolo, riconducibile a una variante del Multiple Traveling Salesman Problem (M-TSP), con funzione obiettivo min-max orientata a minimizzare la lunghezza della rotta più onerosa e, quindi, a garantire una maggiore equità nella distribuzione del carico di lavoro. Il modello e, in generale, la soluzione proposta sono implementati in un pacchetto stand-alone on-premise, con un’interfaccia semplice e una gestione dei dati coerente con le esigenze operative della Fondazione, al fine di favorirne l’adozione da parte degli operatori FARO. La validazione su casi reali del software sviluppato, unitamente al confronto AS IS – TO BE, evidenzia miglioramenti sistematici: riduzione dei chilometri percorsi e dei tempi di servizio, nonché un maggiore bilanciamento complessivo delle rotte. Oltre ai benefici in termini di prestazioni logistiche e, conseguentemente, di efficienza economica, lo strumento offre un contributo operativo concreto alla Fondazione, che può trarre valore da una soluzione digitale leggera e replicabile.

L’elaborato descrive, al capitolo 1, il quadro teorico riguardante la logistica healthcare, con particolare enfasi sugli aspetti di prossimità al territorio e domiciliarità. Al capitolo 2 viene presentata la Fondazione torinese FARO ETS, descrivendo il contesto operativo oggetto di analisi e riprogettazione. Il capitolo 3 prevede l’analisi AS IS del servizio di *home delivery* di medicinali, in termini di configurazione attuale, prestazioni e criticità. Il capitolo 4 sviluppa la proposta di miglioramento, descrivendo il quadro teorico di riferimento, spiegando e confrontando varianti differenti del modello e di logiche risolutive e descrivendo l’implementazione in un applicativo software. Il capitolo 5 presenta i risultati e quantifica i miglioramenti ottenuti in termini di distanze, tempi e costi, mentre il capitolo 6 prevede una riflessione sulla scalabilità e robustezza del prodotto in risposta a scenari evolutivi futuri degli assetti organizzativi del servizio. Infine, la tesi si conclude con un riepilogo delle attività e delle analisi svolte e con una riflessione generale sui risultati raggiunti.

Indice

Elenco delle tabelle	VI
Elenco delle figure	VII
1 Logistica healthcare	1
1.1 Introduzione - Healthcare Supply Chain	2
1.2 La filiera healthcare in Italia	4
1.2.1 I numeri della filiera	7
1.2.2 Modelli di organizzazione logistica	9
1.2.3 Canali distributivi	12
1.2.4 Evoluzioni e trend	16
1.3 Home delivery dei farmaci	20
1.3.1 Modelli attuali di home delivery	22
1.4 Il contesto delle cure palliative	25
1.4.1 Inquadramento normativo	26
1.4.2 Rete delle Cure Palliative	27
1.4.3 Integrazione ospedale-territorio e centralità della domiciliarità	29
1.4.4 Disomogeneità territoriale	30
1.4.5 Ruolo del Terzo Settore	33
2 Fondazione FARO ETS	35
2.1 Servizi, strutture e stakeholder	36
2.2 Area di analisi	38
2.2.1 Contesto operativo: ASL e Cure Palliative a Torino	38
2.2.2 La logistica solidale di FARO ETS nel panorama dell'home delivery a Torino	40
3 Analisi dei processi AS IS	43
3.1 Fonti e strumenti di analisi	43
3.2 Descrizione dei flussi fisici e informativi	44
3.3 Attività e performance	47
3.3.1 Pianificazione operativa del servizio	49
3.3.2 Esecuzione del servizio	55
3.4 Raccolta e analisi dei dati	58
3.4.1 Rilevazioni	58
3.4.2 Costi	59
3.4.3 Criticità	61

3.4.4	Requisiti	65
4	Soluzione di miglioramento	70
4.1	Prompt Engineering e AI per il volontariato	71
4.2	Formulazione del problema di ottimizzazione min-max M-TSP	73
4.3	Implementazione	77
4.3.1	Architettura	77
4.3.2	Prove e risultati	79
4.3.3	Benchmark	85
4.3.4	Soluzione sviluppata	89
5	Risultati	91
5.1	Validazione	91
5.1.1	Unit Testing	92
5.1.2	Integration e System Testing	97
5.1.3	Field Validation	98
5.2	Confronto AS IS – TO BE	98
5.2.1	Distanze	99
5.2.2	Tempi	103
5.3	Analisi delle matrici OSRM	105
6	Evoluzioni future e versatilità del prodotto	108
6.1	Lungo periodo e sostenibilità del servizio	108
6.1.1	Casi analizzati	110
6.2	Passaggio all'elettrico	112
6.3	Sviluppi applicativi del modello	117
7	Conclusioni	120
7.1	Sintesi delle attività svolte e del percorso metodologico	120
7.2	Risultati ottenuti e interpretazione dei benefici	121
7.3	Discussione critica e limiti del lavoro	122
7.4	Ruolo dell'AI generativa nel processo di sviluppo	123
7.5	Sviluppi futuri e applicabilità in contesti diversi	124
	Bibliografia	126
A	Codice dell'applicazione - <i>APP.py</i>	130
A.1	Setup e import	130
A.2	Geocodifica Nominatim	132
A.3	OSRM snap-to-road	133
A.4	Geocodifica avanzata a 3 fasi	134
A.5	Pulizia e <i>parsing</i> indirizzi Excel	137
A.6	Matrice dei costi	141
A.7	Output per la navigazione	142
A.8	Risolutore M-TSP (OR-Tools)	144
A.9	Interfaccia utente	146
A.10	Calcolo rotte e visualizzazione	154

Elenco delle tabelle

1.1	I numeri della filiera Healthcare italiana - 2023	7
1.2	Fabbisogno teorico di Cure Palliative e copertura della Rete per Regione (anno 2023)	31
1.3	Rilevazione AGENAS sullo stato di attuazione del D.M. 77/2022 - Copertura servizio UCP-Dom: % di distretti con almeno un erogatore operativo, II semestre 2024.	32
3.1	Riepilogo caratteristiche dei veicoli utilizzati e costi chilometrici ACI	59
3.2	Valorizzazione economica delle attività volontarie (CRI)	60
3.3	Risk Breakdown Structure (RBS) del servizio	62
3.4	Matrice RBM	63
3.5	Requisiti del sistema e prioritizzazione MoSCoW.	68
3.6	Criteri di accettazione per requisiti funzionali (FR), vincoli (C) e requisiti non funzionali (NFR).	69
4.1	Elementi chiave del prompt engineering e declinazione nel progetto di ottimizzazione per FARO ETS	73
4.2	AS IS vs TO BE (giorno 11/11)	81
4.3	AS IS vs TO BE (giorno 11/12).	81
4.4	AS IS vs TO BE (giorno 8/01).	82
4.5	AS IS vs TO BE (giorno 15/01).	83
4.6	AS IS vs TO BE (giorno 27/01).	83
4.7	Confronto tra Tabu Search e OR-Tools	86
5.1	Righe del file Excel (<i>test.xlsx</i>) in input a UT1	92
5.2	Coordinate ottenute online relative agli indirizzi di prova	94
5.3	Confronto tra percorrenze (km) e tempi (minuti) pianificati e osservati su cinque giornate per il veicolo seguito	98
5.4	Confronto dei costi di trasporto tra configurazione AS IS e TO BE . .	102
5.5	Confronto dello <i>shadow cost</i> del lavoro volontario tra configurazione AS IS e TO BE	104
6.1	Confronto delle distanze percorse tra configurazioni AS IS, TO BE e scenario con due veicoli	110
6.2	Confronto dei tempi totali di servizio tra configurazioni AS IS, TO BE e scenario con due veicoli	110

Elenco delle figure

1.1	Schema della filiera healthcare in Italia (flusso beni) con snodi logistici intermedi	5
1.2	Variazione annuale della destinazione dei volumi dei flussi di colli . . .	8
1.3	Macro e micro – logistica	9
1.4	Schema dei flussi prescrittivi e dei principali modelli di distribuzione.	15
1.5	Assistiti over 65 trattati in ADI in rapporto alla popolazione anziana - 2023	21
1.6	Excursus normativo delle Cure Palliative	26
2.1	Logo Fondazione FARO ETS	35
2.2	ASL in coprogettazione con FARO ETS	36
3.1	Flussi fisici e informativi del processo	46
3.2	WBS del processo	48
3.3	Andamento della domanda di FARO ETS per il servizio di home delivery di farmaci per l'erogazione domiciliare di cure palliative (Ottobre 2025 - Gennaio 2026)	49
3.4	Heatmap mensili della distribuzione geografica della domanda (ottobre 2025 – gennaio 2026).	50
3.5	Relazione tra numero di indirizzi e numero di squadre scelte	52
3.6	Circoscrizioni di Torino - Distretto Nord Est (6, 7), Distretto Nord Ovest (4, 5), Distretto Sud Est (1,8), Distretto Sud Ovest (2,3)	53
3.7	Carico di lavoro medio e indice di saturazione (10 indirizzi = 100%) per squadra	54
3.8	Km percorsi sul periodo analizzato: km totali/giorno, km della tratta più lunga, km della tratta più corta	55
3.9	Boxplot dei chilometri percorsi da ogni auto aziendale	56
3.10	Durata del servizio sul periodo analizzato: ore totali/giorno, ore della tratta più lunga, ore della tratta più breve	57
3.11	Boxplot dei tempi impiegati da ogni auto aziendale	58
3.12	Esposizione ai rischi 1–8, in termini di tempi e costi	64
3.13	BPMN TO–BE	66
3.14	Use-case diagram del software di pianificazione logistica FARO	67
4.1	Confronto delle rotte dell'11/11: prima (sinistra) e dopo (destra) . . .	80
4.2	Confronto delle rotte dell'11/12: prima (sinistra) e dopo (destra) . . .	81
4.3	Confronto delle rotte dell'8/01: prima (sinistra) e dopo (destra) . . .	82

4.4	Confronto delle rotte del <i>15/01</i> : prima (sinistra) e dopo (destra). . .	82
4.5	Confronto delle rotte del <i>27/01</i> : prima (sinistra) e dopo (destra). . .	83
4.6	Confronto sulle distanze totali, massime e minime (in km) tra min-max M-TSP e nin-sum M-TSP	84
4.7	Rotte generate con la meta-euristica GLS – 11/11	87
4.8	Rotte generate con la meta-euristica GLS – 11/12	87
4.9	Rotte generate con la meta-euristica GLS – 8/01	88
4.10	Rotte generate con la meta-euristica GLS – 15/01	88
4.11	Rotte generate con la meta-euristica GLS – 27/01	89
4.12	Pipeline software	90
5.1	V-model	91
5.2	Configurazione dei parametri e upload del file	93
5.3	Preview e pulizia degli indirizzi	93
5.4	Geocodifica completa e editor degli indirizzi	94
5.5	Geocodifica fallita e risposta del sistema	95
5.6	Statistiche generate e salvataggio automatico	96
5.7	Rotte per veicolo generate dal software	96
5.8	Stampa delle rotte	97
5.9	Link/QR code dei percorsi	97
5.10	Confronto AS IS – TO BE dei chilometri complessivi giornalieri e range TO BE	100
5.11	Confronto AS IS – TO BE delle ore complessive giornaliere di servizio e range TO BE	103
5.12	Distribuzione e outlier di distanze e tempi ottenuti da OSRM.	106
5.13	Distribuzioni di distanze e tempi (OSRM): evidenza della coda destra e dei valori estremi.	106
6.1	Scatter plot tempo – distanza	115
6.2	Distribuzione della velocità implicita	115

Capitolo 1

Logistica healthcare

Il settore sanitario sta attraversando profonde trasformazioni nei suoi principali comparti, dettate dalla necessità di gestire una complessità crescente legata a pressioni economiche, carenza di personale e aumento delle aspettative dei pazienti. Allo stesso tempo, i progressi tecnologici e l'intelligenza artificiale aprono nuove strade verso l'efficienza e la crescita. I provider, ossia le aziende sanitarie pubbliche e le strutture private accreditate e convenzionate, hanno affrontato negli ultimi anni difficoltà rilevanti, molte delle quali riconducibili alla pandemia di Covid-19. Per mantenere lo slancio della ripresa dovranno concentrarsi sull'efficienza operativa e sull'adozione di soluzioni tecnologiche. Dovranno inoltre cogliere le aree di crescita che si allineano maggiormente alle preferenze dei pazienti. I centri di chirurgia ambulatoriale e i servizi di assistenza domiciliare sono in espansione: questi setting di cura, caratterizzati da minore intensità assistenziale, offrono costi inferiori e maggiore comodità. Anche il panorama farmaceutico sta evolvendo, con modelli innovativi e programmi integrati medico-farmacia. Stanno emergendo inoltre servizi di consegna farmaceutica diretta al consumatore, sebbene l'adozione sia ancora nelle fasi iniziali. Il comparto dei servizi e delle tecnologie per la sanità (healthcare services and technology, HST), che comprende servizi gestionali e di consulenza, oltre a soluzioni di data & analytics, software, piattaforme e tecnologie, mostra un significativo potenziale di crescita. In questo panorama rientrano anche la logistica e la supply chain, intese come pilastri fondamentali per assicurare la continuità assistenziale e il funzionamento dell'intero sistema. La supply chain sanitaria rientra nei servizi gestionali, insieme a funzioni core (come servizi clinici, amministrativi e di pagamento), a conferma del fatto che la gestione dei flussi fisici e informativi — approvvigionamento, magazzino, distribuzione e trasporto — non rappresenta un'attività accessoria, ma un fattore abilitante.

“Logistica healthcare” è il termine utilizzato per designare l'insieme coordinato di processi, risorse, tecnologie e flussi finalizzati a garantire la disponibilità tempestiva, sicura e appropriata di beni e servizi sanitari lungo l'intero percorso di cura del paziente. Tradizionalmente associata alla gestione dei beni sanitari — quali farmaci, dispositivi medici, materiali di consumo e prodotti termolabili — la logistica healthcare ha progressivamente ampliato il proprio perimetro, includendo anche la logistica dei servizi, ossia l'organizzazione e il coordinamento delle risorse professionali e delle attività assistenziali di prossimità erogate sul territorio. I processi logistici del

sistema sanitario sono quindi classificabili in due domini: beni e servizi. Il primo include la produzione, l'approvvigionamento, la ricezione e preparazione degli ordini, lo stoccaggio, movimentazione e trasporto di farmaci e apparecchiature, e la gestione delle scorte e dei resi, con particolare attenzione a tracciabilità, sicurezza, rispetto della catena del freddo e conformità normativa. Il secondo dominio riguarda la presa in carico dei pazienti, il coordinamento delle équipes multiprofessionali, la pianificazione delle visite domiciliari, l'organizzazione dei mezzi e il routing. Quella sanitaria è dunque una logistica integrata che comprende processi riconducibili a flussi di materiali, informazioni e risorse umane e che richiede l'interfaccia tra molteplici figure professionali. In un contesto sempre più orientato alla deospedalizzazione, alla presa in carico continuativa e alla centralità del paziente, la logistica healthcare assume un ruolo strategico nel garantire continuità assistenziale, sostenibilità del sistema e qualità delle cure, soprattutto nei percorsi complessi che prevedono l'erogazione di servizi sanitari a domicilio. In questa prospettiva, la distinzione tra logistica dei beni e logistica dei servizi risulta sempre meno netta, poiché entrambe concorrono alla costruzione di un unico processo integrato di supporto alla cura.

La ricerca di efficienza e la pressione su costi e disponibilità di personale rendono centrale l'adozione di strumenti digitali (piattaforme, dati e analytics) capaci di migliorare pianificazione, tracciabilità e coordinamento lungo la catena di fornitura. In altre parole, la spinta tecnologica del comparto HST si traduce, sul piano logistico, nella possibilità di ridurre sprechi e variabilità, aumentare l'affidabilità dei processi e supportare modelli assistenziali sempre più orientati alla prossimità e alla domiciliarità. Per sbloccare ulteriore crescita, i fornitori devono puntare su competenze verticali profonde e su un'integrazione tecnologica efficace. Tra le priorità rientrano l'utilizzo dell'AI generativa a supporto dei processi, il miglioramento dell'interoperabilità dei dati e il rafforzamento di insight realmente azionabili. Di fronte a ostacoli importanti, la strada da seguire passa da innovazione e collaborazione: provider, servizi di farmacia e organizzazioni HST devono adottare un approccio centrato sul paziente, sfruttando tecnologie all'avanguardia per aumentare l'efficienza, ridurre i costi e migliorare gli esiti [1] [2] [3].

1.1 Introduzione - Healthcare Supply Chain

Le tendenze relative ai consumatori stanno determinando, negli ultimi anni, la domanda di nuove catene del valore sanitarie, incentrate sul paziente e in grado di consegnare farmaci e dispositivi medici in una gamma molto più ampia di contesti di utilizzo finale. Nel comparto dei dispositivi medici, la forte eterogeneità di prodotto si combina con la crescente centralità del paziente e con l'espansione di canali digitali ed e-commerce, richiedendo maggiore visibilità distributiva, controllo e capacità di gestione anche per spedizioni a temperatura controllata. In parallelo, la pressione su costi e sostenibilità rende cruciali l'ottimizzazione delle scorte, la gestione dell'obsolescenza e lo sviluppo di processi post-vendita (ricambi, resi, recupero asset) che supportino continuità operativa e obiettivi ESG. Nella consumer healthcare, l'evoluzione verso un consumatore più informato e attivo aumenta la domanda di prodotti OTC ("Over The Counter", farmaci senza prescrizione medica) e soluzioni multicanale: ciò impone supply chain sicure, fluide ed efficienti, ma anche la capacità

di governare l'esperienza di consegna in contesti dove il produttore ha un controllo limitato perché dipende da partner di canale e piattaforme online. Inoltre, l'adozione di wearable e strumenti di health tracking amplifica il valore di trasparenza e tracciabilità, rendendo indispensabili supply chain affidabili e orientate alla fiducia del consumatore. Un'ulteriore area in forte evoluzione è quella delle sperimentazioni cliniche, dove cresce il passaggio dai modelli tradizionali a trial "direct-to-patient". Questa transizione aumenta drasticamente la complessità operativa: la logistica deve collegare molteplici località e gestire ritiri e consegne su lunghe distanze entro finestre temporali molto strette, spesso con requisiti stringenti di temperatura. Allo stesso tempo, la maggiore difficoltà di reclutamento (per patologie rare e popolazioni più eterogenee) richiede supply chain realmente globali, capaci di garantire servizi "full loop" (invio del farmaco e dei kit al paziente, ritiro dei campioni, spedizione al laboratorio, gestione dei resi, smaltimento conforme). Mentre, a monte, lo sviluppo di trattamenti personalizzati e su misura richiede collegamenti più stretti e reattivi tra la produzione e gli utenti finali, a valle, i pazienti si aspettano sempre più, nella sanità, lo stesso livello di comodità e controllo che già sperimentano nell'acquisto di altri beni e servizi. Il concetto di autocura e responsabilità sta diventando sempre più rilevante: il 90% dei consumatori della Generazione Z ha dichiarato di informarsi online su costi e opzioni sanitarie prima di consultare un medico. A fronte di questi trend, le supply chain devono sviluppare alcune capacità chiave. In primo luogo, una cold chain più flessibile: non solo più estesa, ma in grado di gestire lotti più piccoli, domanda volatile e un ventaglio termico più ampio, includendo spedizioni ultra-cold. In secondo luogo, diventano centrali i servizi "white glove", cioè modelli logistici ad altissimo livello di cura, reattività e affidabilità, coerenti con un'healthcare sempre più patient-centric: ciò implica competenze specialistiche, gestione avanzata del packaging, tecnologie di tracciamento evolute e personale formato per operare a contatto con contesti clinici. Terzo elemento è la capacità di gestire modelli diretti a ospedali, cliniche, farmacie e domicilio, che richiedono reti agili e differenziate, in grado di mantenere standard elevati di qualità e servizio su destinatari e punti di consegna molto diversi. Con i produttori e le aziende farmaceutiche che esplorano approcci più orientati al paziente, stanno infatti emergendo diversi modelli di supply chain "direct to X":

- catene di fornitura dirette dal produttore a ospedali e farmacie, bypassando canali distributivi tradizionali;
- modelli direct-to-patient, che consegnano prodotti da farmacie, ospedali, distributori o direttamente dal produttore.

Questa crescente complessità rende indispensabile un approccio di orchestrazione della supply chain "segmentato, coordinato e ottimizzato". La segmentazione consente di definire processi e livelli di servizio differenti per prodotti e clienti diversi; la coordinazione integra attori multipli; infine l'ottimizzazione riduce sprechi e migliora le performance complessive. In questo quadro, la digitalizzazione della filiera rappresenta un abilitatore trasversale: accelerazione della scoperta di farmaci, supporto alle decisioni cliniche, automatizzazione della distribuzione e dispensazione, abilitazione della telemedicina e del telemonitoraggio e utilizzo di app e dispositivi wearable. Tra

le opportunità relative alla digitalizzazione della supply chain rientrano il tracciamento intelligente delle spedizioni, il monitoraggio delle scorte presso ospedali e abitazioni, blockchain per sicurezza e anticontraffazione, digital twin per ottimizzazione dei flussi e inventario. Tuttavia, le principali barriere non sono rappresentate dalle tecnologie a disposizione, ma dall'integrazione dei dati, dalla governance e dalla sicurezza. Oggi, le iniziative di digitalizzazione della supply chain e in ambito sanitario (clinico/ospedaliero) vengono spesso progettate e implementate in modo indipendente. Mettere insieme questi due "lati" del digitale potrebbe abilitare un ulteriore salto di efficienza, velocità e comodità. Per questo, accanto all'innovazione tecnologica, le già citate collaborazioni tra aziende farmaceutiche, enti regolatori e aziende tecnologiche risultano necessarie per innovare il settore healthcare su larga scala, attingendo alle competenze di più organizzazioni per creare nuove offerte di prodotto e soluzioni di servizio. Il successo delle terapie avanzate, dei modelli di delivery patient-centric e dei servizi digitali dipende dall'orchestrazione efficace di molteplici stakeholder, con flussi di prodotti e informazioni attentamente coordinati. L'adozione di standard e flussi comuni, la condivisione degli asset di trasporto e delle infrastrutture, come i magazzini, può migliorare l'efficienza e ridurre costi e impatto ambientale. Cresce infatti la pressione verso supply chain sostenibili, soprattutto su due fronti: emissioni di trasporto e rifiuti da packaging. Il settore sanitario è responsabile del 4-5% delle emissioni globali di CO₂, risultando più carbon-intensive del settore automobilistico globale. Per questo, soluzioni in grado di ottimizzare l'inventario, riutilizzare il packaging o ridurre le emissioni di gas serra (come i magazzini carbon neutral) sono sempre più ricercate. Infine, dopo lo shock degli ultimi anni legato in larga parte alla pandemia, governi e operatori sanitari stanno riconsiderando gli assetti delle supply chain, ad oggi spesso troppo centralizzati. In questa prospettiva, stanno acquisendo rilievo strategie di regionalizzazione e localizzazione di alcune fasi produttive, con l'obiettivo di aumentare la resilienza e avvicinare approvvigionamento e capacità produttiva ai mercati finali. Parallelamente, l'evoluzione verso un quadro regolatorio più articolato rende necessario un approccio alla compliance non solo reattivo, ma proattivo e collaborativo lungo l'intera filiera, in grado di anticipare gli adeguamenti, integrare la logistica nel percorso di cura end-to-end del paziente e dotarsi di organizzazione, processi e sistemi informativi in grado di valorizzare il dato [1] [2].

1.2 La filiera healthcare in Italia

In Italia la filiera healthcare presenta una peculiarità importante: l'elevato peso del settore pubblico. La domanda di molti beni sanitari è dominata dal Sistema Sanitario Nazionale (SSN), dal momento che una quota rilevante di farmaci, dispositivi e servizi viene acquistata, finanziata o rimborsata da enti pubblici, come Regioni, aziende territoriali e ospedali. Di conseguenza, le logiche logistiche non seguono solo criteri commerciali, ma sono fortemente influenzate da regole di spesa pubblica, programmazione sanitaria e procedure amministrative. La filiera si compone di molteplici attori, alcuni distribuiti su livelli diversi, altri operanti trasversalmente alla catena. La figura 1.2 riporta uno schema ad alto livello della filiera, che mostra e raggruppa i principali stakeholder.

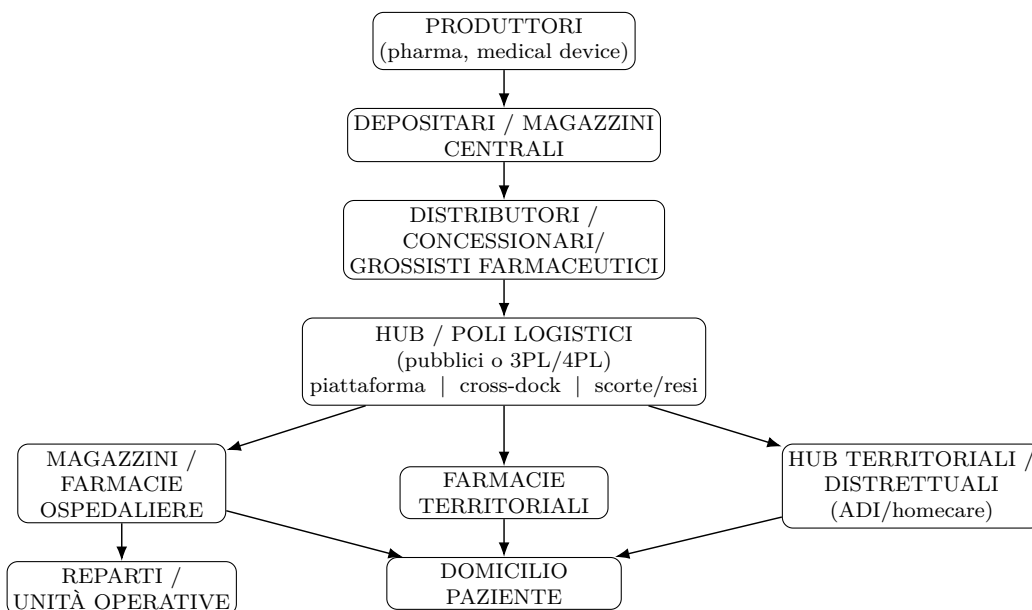


Figura 1.1: Schema della filiera healthcare in Italia (flusso beni) con snodi logistici intermedi

A monte troviamo produzione e deposito: qui si concentra la logistica industriale con stoccaggio centralizzato, controllo qualità e preparazione delle spedizioni. Questo primo livello è quindi occupato dall'industria, con le aziende titolari dell'Autorizzazione all'Immissione in Commercio (AIC) e i *legal manufacturer*. Si tratta di soggetti responsabili della ricerca, dello sviluppo, della produzione e/o della commercializzazione di farmaci, medicinali omeopatici, gas medicinali, dispositivi medici e il relativo indotto. Queste aziende mantengono la responsabilità legale del prodotto immesso sul mercato e ne rispondono, nei confronti delle autorità regolatorie, della qualità, sicurezza ed efficacia. A seguire troviamo i depositari, operatori logistici che svolgono attività per conto delle aziende farmaceutiche. I depositari non acquisiscono la proprietà del farmaco, che rimane in capo all'azienda titolare AIC, ma operano come fornitori di servizi logistici, spesso in regime di contratto esclusivo. Le loro attività comprendono la gestione delle scorte, il rispetto delle condizioni di conservazione (incluse le temperature controllate), la preparazione dei colli e l'organizzazione delle spedizioni, e sono soggette alle normative sulle Good Distribution Practices (GDP) e a controlli da parte delle autorità competenti. Il livello successivo è costituito dalla distribuzione e intermediazione, che si configura come un cluster comprendente attori differenti. La categoria più ampia è quella dei distributori intermedi, che fanno da ponte tra produttori e "punti di cura", gestendo portafogli multi-marca con un focus su approvvigionamento e logistica. Tra questi rientra la figura, più specifica, dei grossisti farmaceutici autorizzati alla commercializzazione di farmaci e specializzati sul canale farmaceutico. Questi soggetti gestiscono la distribuzione all'ingrosso e operano acquistando i medicinali direttamente dall'industria per poi rivenderli ai clienti finali autorizzati. I grossisti svolgono una funzione fondamentale di intermediazione e capillarizzazione della distribuzione, assicurando la disponibilità dei farmaci sul territorio nazionale. A differenza dei depositari, i grossisti assumono la proprietà del prodotto e ne gestiscono direttamente il rischio commerciale

e logistico. Allo stesso cluster appartengono poi i concessionari, intermediari del canale *medical device* che, a differenza dei distributori intermedi, operano spesso come referenti autorizzati di specifici brand (talvolta con esclusiva territoriale) e possono integrare servizi tecnico-assistenziali. Un ulteriore snodo della rete, non necessariamente presente, è rappresentato dall'hub (o polo/piattaforma) logistico. Spesso questo tipo di infrastruttura della supply chain viene dato in outsourcing, secondo modelli di *Third-Party Logistics* (3PL), in cui la logistica è esternalizzata a un operatore che gestisce direttamente magazzino e trasporti, o *Fourth-Party Logistics* (4PL), in cui un soggetto "integratore" assume un ruolo di coordinamento e governance dell'intera rete (hub, trasporti e fornitori logistici), monitorando KPI e orchestrando più operatori, anche quando l'esecuzione fisica è affidata a uno o più 3PL. Il polo logistico nasce per gestire la complessità e consente di centralizzare ricezione, controlli, preparazione degli ordini, eventuale cross-docking, gestione scorte e redistribuzione ai livelli successivi, rappresentati dai punti di dispensazione e erogazione e dal territorio. A valle della filiera, al livello più vicino al cliente finale, troviamo infatti ospedali, farmacie territoriali e hub distrettuali: qui i prodotti sono utilizzati per uso clinico (reparti) o dispensati per il cittadino. Servizi di assistenza domiciliare, come ADI ("Assistenza Domiciliare Integrata", servizio gestito dalle ASL) o *homecare* (insieme più ampio di servizi a domicilio, spesso legati a fornitura e gestione di dispositivi/ausili, erogato da provider) generano fabbisogni logistici che spesso vengono gestiti tramite nodi locali della rete, rappresentati appunto da hub distrettuali/territoriali. La filiera healthcare non segue tuttavia una sequenza unica e rigida di passaggi. Nonostante possa essere descritta tramite livelli ricorrenti (produzione, deposito, intermediazione distributiva, poli logistici, punti di erogazione e territorio), l'assetto operativo varia in funzione di prodotto, urgenza, vincoli di conservazione, configurazioni contrattuali e scelte organizzative. Di conseguenza, alcuni livelli possono essere accorpati, esternalizzati o saltati. Le modalità di accesso al farmaco possono variare in funzione della classe di appartenenza e del modello distributivo adottato, con un ruolo sempre più rilevante assunto dalla distribuzione territoriale e domiciliare nei percorsi di cura complessi. Pur non collocandosi in un punto preciso della catena rappresentata in figura 1.1, il Distretto/ASL rappresenta un nodo di governance che svolge una funzione di "regia" nella filiera italiana, attivando, coordinando e controllando i flussi logistici. Attraverso la presa in carico del paziente e la definizione del piano assistenziale, il Distretto determina fabbisogni e priorità (ad esempio per ADI, cronicità o palliativismo), autorizza l'erogazione di presidi, ausili e servizi e stabilisce modalità e tempi di consegna. Sul versante organizzativo, l'ASL opera come committente, definendo contratti e livelli di servizio con fornitori, operatori logistici e *homecare provider*, e monitorando performance e continuità assistenziale tramite indicatori e tracciabilità amministrativa. In questo senso, il nodo Distretto/ASL si colloca "a monte" dei flussi fisici: orienta l'instradamento delle forniture verso hub territoriali e domicili e assicura che la logistica sia coerente con gli obiettivi clinico-assistenziali e con i vincoli economico-organizzativi del sistema. Trasversalmente alla catena si collocano ulteriori figure: oltre ai già citati operatori logistici (3PL, 4PL) e *homecare provider*, troviamo i vettori/corrieri. Questi si occupano di trasporto puro tra nodi: raccolta, trasporto, consegna. Possono essere generalisti o specializzati e si distinguono ulteriormente in base alle tratte su cui operano. Il trasporto primario collega i nodi a monte con quelli di rete e

si caratterizza per spedizioni di grandi volumi e vincoli di qualità e tracciabilità. Il trasporto secondario connette i nodi intermedi (distribuzione intermedia/ hub) con i punti di erogazione, con focus su time window, maggiore frequenza e gestione dell'urgenza. Infine, il *last mile* porta il prodotto al punto finale di utilizzo, spesso rappresentato dal domicilio del paziente. Questa è la tratta più delicata in quanto caratterizzata da vincoli più stringenti, maggiore frammentazione delle consegne e variabilità. Il ruolo dei vettori è particolarmente critico nella logistica farmaceutica, poiché devono garantire il rispetto delle condizioni di sicurezza, integrità e conservazione del prodotto, specialmente per i farmaci termolabili e ad alto costo. Infine, lungo l'intera filiera operano in modo trasversale gli enti di regolazione e controllo, che presidiano il sistema a diversi livelli. In Italia, l'AIFA svolge un ruolo centrale nella regolamentazione del farmaco, affiancata dal Ministero della Salute, dalle Regioni e dalle ASL per gli aspetti organizzativi e distributivi territoriali, mentre, a livello europeo, l'EMA coordina le attività regolatorie sovranazionali. Questi enti definiscono il quadro normativo entro cui si sviluppano i processi logistici, garantendo l'allineamento tra esigenze cliniche, sostenibilità del sistema sanitario e tutela della salute pubblica.

1.2.1 I numeri della filiera

Nell'anno 2023, la filiera italiana si articolava in poco più di 5.900 aziende, generando un fatturato complessivo di circa 91,85 miliardi di euro e contribuendo per circa il 4,3% al Prodotto Interno Lordo del Paese (PIL ai prezzi dell'anno considerato pari a 2,128 miliardi di euro nel 2023) [4].

Attori	Aziende (n.)	Fatturato (milioni €)
Industria	5.654	72.520
Depositari	70	3.467
Distributori	152	15.611
Trasportatori	30	253

Tabella 1.1: I numeri della filiera Healthcare italiana - 2023

Il 79% del fatturato è rappresentato dalla parte a monte della supply chain, ovvero dall'industria, mentre il restante è così suddiviso: il 17% è generato dalla distribuzione intermedia, mentre un 4% si ripartisce tra depositari e trasportatori specializzati (con quest'ultimi che contribuiscono al valore complessivo con meno dello 0,3%). Nonostante il trend crescente del fatturato, i margini di redditività restano contenuti, collocandosi mediamente intorno al 3,5%, un valore significativamente inferiore rispetto alla media della Contract Logistics italiana (5,3%). Tale divario riflette l'elevata complessità del settore healthcare, caratterizzato da forte regolamentazione, variabilità della domanda e necessità di elevati standard di qualità e personalizzazione del servizio. Inoltre, la logistica healthcare è ancora spesso interpretata come una mera voce di costo, piuttosto che come un'attività a valore aggiunto. All'interno della filiera emergono differenze rilevanti tra le tipologie di operatori. In particolare, le attività di distribuzione intermedia risultano caratterizzate da marginalità significativamente ridotte, con valori medi pari a circa 1,5%, evidenziando le criticità legate alla

frammentazione dei flussi e alla molteplicità dei passaggi logistici. Al contrario, le attività di trasporto mostrano una redditività relativamente più elevata: la marginalità dei vettori nazionali di logistica healthcare è superiore rispetto a quella degli operatori logistici (5,8% vs 3,5%), ed è positiva anche quella che si registra per i vettori regionali, in media del 4,7% [5]. Come anticipato, la supply chain sanitaria non presenta un'architettura rigida. I diversi punti di dispensazione dei prodotti – farmacie, ospedali, domicili – possono quindi essere raggiunti mediante differenti route-to-market.

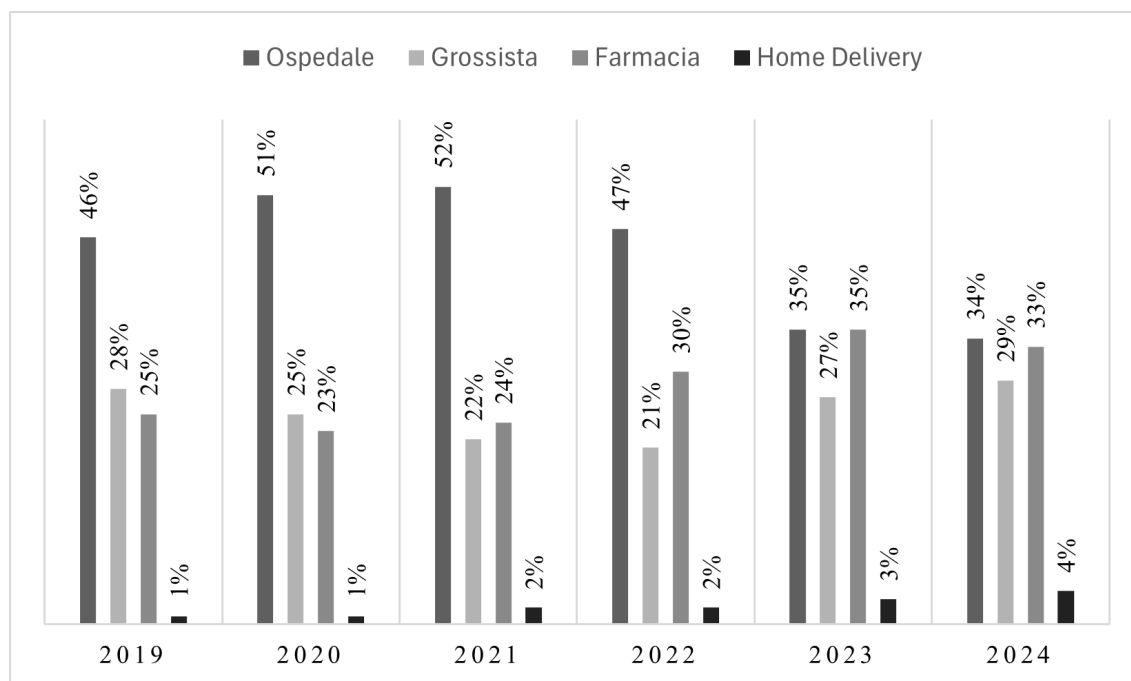


Figura 1.2: Variazione annuale della destinazione dei volumi dei flussi di colli

Tra il 2019 e il 2023 si riscontrano variazioni nella distribuzione dei flussi per canale, evidenziati in figura 1.2: si ridimensionano quelli della quota ospedaliera, calano i volumi diretti ai grossisti e crescono per farmacie e home delivery. La quota ‘ospedale’ nel grafico va letta come canale di distribuzione/dispensazione o primo destinatario logistico. Pertanto, una revisione dei modelli di approvvigionamento può ridurre i volumi ospedalieri qualora aumenti la centralizzazione su hub o il ricorso a intermediari, oppure qualora alcune forniture vengano reindirizzate verso canali territoriali o home delivery. Quindi il calo, registrato tra 2022 e 2023, non implica necessariamente minore consumo ospedaliero, ma una diversa architettura distributiva e/o un diverso punto di consegna. Nel 2024 rimangono pressoché invariati, rispetto all’anno precedente, i volumi movimentati dalla logistica healthcare in termini di colli (-1,7%, con il 34% dei colli diretto agli ospedali, il 33% alle farmacie, il 29% ai grossisti e il 4% alle case dei pazienti) e chilogrammi (+1%), ma si assiste ad una riduzione e a un consolidamento delle spedizioni (-5,5%). Dai flussi del 2024 emerge che oltre l’80% delle spedizioni è diretto a farmacie (40%) e ospedali (43%). Si evidenzia quindi una maggiore parcellizzazione di ordini e consegne dirette ai punti di erogazione e dispensazione rispetto, ad esempio, al canale della

distribuzione intermedia. I grossisti, infatti, assorbono il 29% dei colli, ma, essendo di dimensioni maggiori, corrispondono al 24% dei chilogrammi complessivi, a fronte del 13% delle spedizioni. Un elemento di crescente interesse è poi rappresentato dallo sviluppo del canale di consegna domiciliare: sebbene tale modalità rappresenti ancora una quota minoritaria dei volumi complessivi, la sua incidenza è aumentata nel periodo 2019-2024, passando dall'1 al 4%, indicando un trend strutturale verso modelli di distribuzione più orientati alla prossimità e al paziente. Questo andamento si inserisce nel più ampio processo di rafforzamento dell'assistenza territoriale e domiciliare promosso a livello nazionale e regionale [6].

1.2.2 Modelli di organizzazione logistica

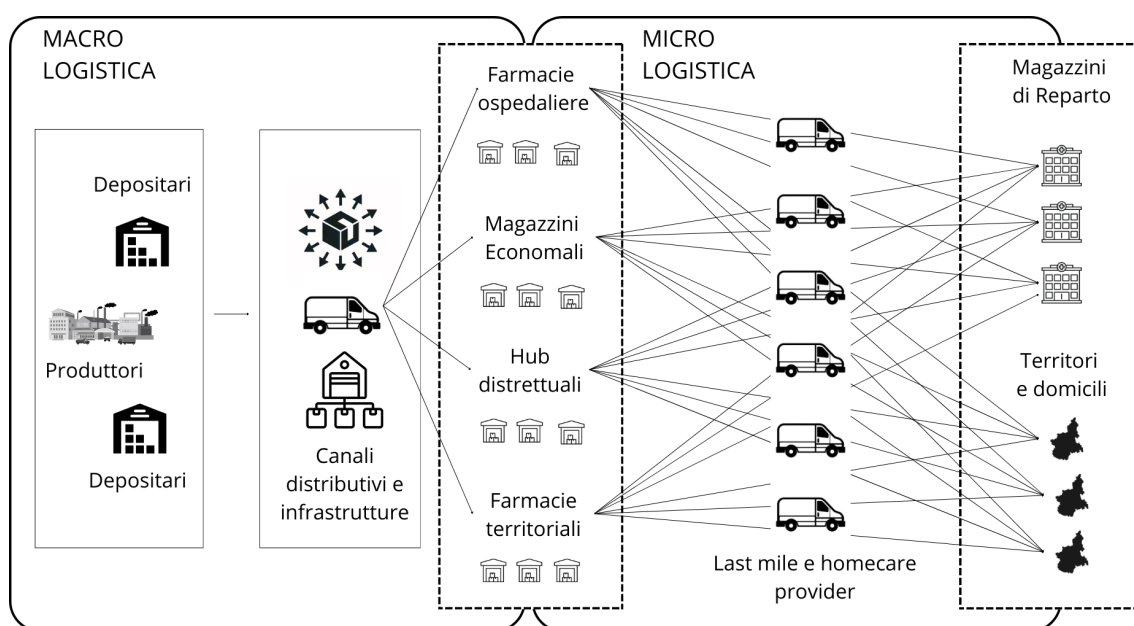


Figura 1.3: Macro e micro – logistica

La logistica sanitaria può essere ricondotta a un complesso di fasi che comprendono l'emissione degli ordini di acquisto, la ricezione e il controllo merci, lo stoccaggio, l'allestimento/picking e la spedizione verso eventuali punti di transito più a valle. A queste si affiancano attività di gestione delle scorte e di distribuzione verso i punti di consumo, che possono essere reparti ospedalieri, servizi territoriali e, sempre più spesso, il domicilio del paziente. La mappatura strutturata di tali fasi costituisce un passaggio preliminare essenziale per confrontare modelli alternativi, identificare criticità operative e definire interventi di miglioramento. Nella sanità molte inefficienze non derivano solo da problemi clinici, ma da problemi "operativi": disponibilità dei materiali, scorte, tempi di approvvigionamento, tracciabilità e qualità del servizio logistico. Per questo motivo, i principi dell'Operations Management — l'insieme di metodi per progettare, governare e migliorare i processi con l'obiettivo di ottenere efficacia ed efficienza — stanno diventando molto rilevanti all'interno delle organizzazioni sanitarie. In letteratura la logistica sanitaria può essere concettualmente distinta in macro-logistica e micro-logistica, due livelli fortemente interdipendenti. La figura 1.3

riporta schematicamente questa distinzione, evidenziando i nodi della filiera coinvolti nelle due sotto-reti. La macro-logistica riguarda la rete esterna e le sue logiche, e comprende i processi di approvvigionamento, stoccaggio e distribuzione di farmaci e dispositivi lungo la filiera che collega fornitori e nodi sanitari. La micro-logistica riguarda invece il “last mile clinico”, ossia la gestione dei flussi verso i punti di utilizzo e di erogazione: reparti, servizi territoriali e domicilio. La separazione funzionale tra questi due livelli, se non adeguatamente governata, può generare frammentazione dei flussi, inefficienze operative e perdita di visibilità sull’intera catena. Per tale ragione, i modelli logistici dovrebbero orientarsi verso una visione integrata della supply chain complessiva, capace di connettere macro e micro-logistica.

La letteratura consente di individuare differenti modelli di organizzazione logistica, intesi come configurazioni dei processi complessivi che regolano i flussi fisici e informativi lungo la supply chain, differenziati in base alla struttura della rete, al grado di centralizzazione e al ruolo di attori esterni. Il modello tradizionale, storicamente il più diffuso nel contesto italiano, è caratterizzato da una struttura fortemente decentrata: i singoli presidi gestiscono localmente magazzino e scorte, mantengono i rapporti con i fornitori e alimentano i propri punti di consumo. Questo assetto presenta il vantaggio di una prossimità operativa tra magazzino e punto di utilizzo finale e di un elevato controllo locale sulle esigenze specifiche. Tuttavia, sebbene diffuso e consolidato, tende a ridurre le economie di scala e ad aumentare la frammentazione delle scorte. La duplicazione delle infrastrutture di stoccaggio comporta costi elevati di gestione e manutenzione, oltre a un uso inefficiente degli spazi e delle risorse umane. L’assenza di una visione integrata delle giacenze rende più complessa la previsione della domanda e aumenta il rischio di carenze o, al contrario, di eccedenze, con sprechi dovuti a obsolescenza e scadenze. Tali limiti sono emersi in modo particolarmente evidente in contesti di crisi, come durante l’emergenza pandemica, quando la mancanza di coordinamento tra nodi ha reso più complessa la riallocazione dinamica dei prodotti anche a supporto dei bisogni territoriali. In risposta alle criticità del modello tradizionale, molte realtà sanitarie hanno progressivamente adottato modelli di centralizzazione logistica, che prevedono la concentrazione delle attività di stoccaggio e preparazione degli ordini in uno o più magazzini unici a servizio di una pluralità di strutture e nodi della rete. In questo assetto, la supply chain viene riprogettata riducendo il numero di punti di stoccaggio e introducendo procedure standardizzate per la gestione dei flussi. Parte delle attività può essere gestita internamente o esternalizzata, mentre il soggetto pubblico mantiene la responsabilità di governo e controllo e definisce le regole di distribuzione verso i nodi serviti (ospedali, farmacie e nodi territoriali). La centralizzazione favorisce inoltre l’armonizzazione delle procedure tra strutture diverse e la definizione di politiche comuni di approvvigionamento e distribuzione, contribuendo a ridurre disomogeneità di servizio e migliorare la visibilità complessiva delle giacenze. I benefici includono standardizzazione, maggiore capacità di pianificazione, riduzione della variabilità, miglioramento della risposta a variazioni della domanda e aumento della resilienza della supply chain. Tuttavia, la centralizzazione richiede investimenti significativi in infrastrutture, tecnologie e competenze, oltre a un forte coordinamento tra gli attori coinvolti. Il modello di outsourcing, infine, affida a un operatore logistico specializzato la gestione e movimentazione fisica dei prodotti (ricezione, stoccaggio, preparazione ordini e trasporto), mentre la proprietà dei beni,

i rapporti con i fornitori, le decisioni di acquisto e la responsabilità clinica rimangono in capo all'ente sanitario o alla centrale di committenza. Questa configurazione mira a valorizzare competenze e tecnologie esterne, riducendo l'onere operativo interno e trasformando parte dei costi fissi in costi variabili. Si fonda sull'idea di separare le funzioni core, legate alla governance clinica e alla programmazione, dalle funzioni operative, che possono essere svolte in modo più efficiente da soggetti dotati di competenze specifiche, infrastrutture dedicate e tecnologie avanzate. Nel settore sanitario, l'outsourcing logistico assume una rilevanza crescente anche in relazione all'introduzione di farmaci innovativi, terapie avanzate e modelli di assistenza domiciliare, che richiedono elevati standard di qualità, sicurezza e tracciabilità. Tuttavia, tale configurazione richiede un forte presidio contrattuale e informativo da parte del soggetto committente, al fine di garantire il rispetto delle normative, la continuità del servizio e l'allineamento tra obiettivi clinici e operativi.

Prima della pandemia, le principali direttrici di evoluzione erano l'innovazione tecnologica, in termini di digitalizzazione e automazione, e quella organizzativa, consistente nella tendenza a centralizzazione ed esternalizzazione. La prima rende la logistica più tracciabile, misurabile e controllabile attraverso strumenti come sistemi informativi di gestione del magazzino (WMS), tecnologie di identificazione automatica (codici a barre e RFID), automazione del picking (armadi intelligenti e sistemi automatici) e strumenti di pianificazione e controllo (dashboard logistiche, KPI e modelli previsionali). Inoltre, la digitalizzazione gioca un ruolo rilevante nell'abilitare le logiche di gestione logistica. Due sono quelle principali: la logica push, basata su ipotesi della domanda da cui si strutturano le attività logistiche, e la logica pull, che dimensiona la catena a partire dalla domanda effettiva. La logistica moderna tende verso logiche pull, che favoriscono flussi più snelli e riduzione degli sprechi, ma senza dati affidabili e tempestivi l'implementazione risulta difficile o rischiosa; la tecnologia diventa quindi un abilitatore dei modelli organizzativi più avanzati. La seconda direttrice riguarda invece il disegno della rete e i ruoli degli attori: alcune realtà si muovono verso modelli con maggiore accentramento e, parallelamente, aumenta il grado di esternalizzazione di attività "no core", dalla gestione dei magazzini a quella dei trasporti e della distribuzione verso i punti di consumo. Il problema principale per un miglioramento complessivo è costituito dal fatto che molti investimenti sono "stand-alone", ossia nascono come progetti locali e vengono effettuati in modo autonomo dalle singole aziende sanitarie senza adeguate integrazioni. Inoltre, ogni azienda affronta difficoltà rilevanti (vincoli economici, carenza di competenze, necessità di aggiornamento continuo e limitato potere contrattuale), evidenziando il bisogno di una visione e di una governance integrate della catena, attraverso un'architettura istituzionale capace di coordinare sinergie, standard e interoperabilità. Dopo il Covid si aggiunge una terza direttrice: il territorio. La catena, infatti, non può fermarsi all'ospedale, ma deve includere distretti, domicilio, farmacie territoriali, hub e ultimo miglio. La distribuzione sul territorio ha rappresentato uno dei principali punti di criticità durante la fase emergenziale, non essendo strutturata per sostenere volumi, complessità e capillarità tali da garantire una continuità assistenziale diffusa. Oggi un numero crescente di fasi del percorso di cura è trasferito sul territorio, non solo nell'assistenza domiciliare tradizionale, ma anche per attività cliniche e terapeutiche che non possono più essere concentrate esclusivamente all'interno delle strutture ospedaliere. Questa trasformazione richiede di gestire in modo strutturato i flussi di

materiali sul territorio, integrando nella catena logistica una pluralità di attori già presenti, ma finora coinvolti in modo più limitato e frammentario. Le misure previste nell'ambito del PNRR, in particolare nella Missione 6, Componente 2, Investimento 2.1 dedicato all'aggiornamento tecnologico e digitale, rappresentano un'opportunità rilevante per sostenere le tre direttrici evolutive. Un percorso coerente dovrebbe prevedere linee di indirizzo regionali per evitare che le singole aziende sanitarie progettino autonomamente soluzioni complesse e non interoperabili, includendo coordinamento dei fondi con pacchetti di digitalizzazione strutturati, progettazione e monitoraggio di progetti pilota, supporto operativo in implementazione e progressiva estensione dei modelli adottati, previa verifica di coerenza e affidabilità nel tempo. In questo modo, la logistica sanitaria può evolvere da funzione reattiva a leva strategica per l'integrazione ospedale-territorio, a supporto di modelli di cura sempre più prossimi al paziente [7] [8].

1.2.3 Canali distributivi

I modelli distributivi rappresentano l'insieme dei processi che definiscono il flusso dei medicinali dal produttore al paziente, con focus sui canali di vendita e sulle relazioni commerciali e con l'obiettivo finale di garantire la disponibilità del prodotto sul mercato. Nel 2022, nell'ambito del Congresso Nazionale SIFO (Società Italiana di Farmacia Ospedaliera e dei servizi farmaceutici delle Aziende Sanitarie), si è tenuta la sessione dedicata a questo tema, dal titolo "*I modelli distributivi del farmaco come strumento di governance e di accesso uniforme alle cure*". Nel Servizio Sanitario Nazionale italiano, l'organizzazione dei modelli di distribuzione dei farmaci è strettamente connessa alla classificazione dei medicinali, organizzata, secondo l'attuale inquadramento normativo, in tre setting assistenziali, diversi per quanto attiene all'ambito della terapia e, di conseguenza, alla modalità distributiva (ciascuno caratterizzato da specifici strumenti regolatori, luoghi di dispensazione e percorsi logistici): area H (classe H), area T (classe A) e area H-T (classe A-PHT). Questa classificazione non riguarda tutti i farmaci, ma quelli a carico del SSN, in quanto sono gli unici a generare flussi logistici rilevanti per le strutture sanitarie pubbliche. Un primo ambito è rappresentato dall'area ospedaliera (area H), che comprende i farmaci di classe H, destinati a terapie ad elevata complessità clinica e utilizzati in regime di ricovero o di ospedalizzazione domiciliare. Tali medicinali sono inseriti nel Prontuario Terapeutico Ospedaliero (PTO) e vengono dispensati esclusivamente dalle farmacie ospedaliere, che ne garantiscono la corretta conservazione, tracciabilità e distribuzione ai reparti o direttamente al paziente, nel rispetto di stringenti requisiti di sicurezza e controllo. Questo setting genera flussi distributivi fortemente specializzati, caratterizzati da volumi contenuti, alto valore unitario dei prodotti e necessità di un monitoraggio clinico continuo. Un ulteriore ambito è rappresentato dall'area territoriale (area T), che comprende i farmaci di classe A, destinati alla gestione della cronicità o a terapie di breve durata che non richiedono ospedalizzazione. Tali medicinali sono inseriti nel Prontuario Farmaceutico Nazionale (PFN) e possono essere prescritti dai medici di medicina generale o dai pediatri di libera scelta, con dispensazione affidata alle farmacie di comunità pubbliche e private in regime di convenzione. In questo setting, i flussi distributivi sono caratterizzati da una maggiore capillarità e da volumi più elevati, ma con un livello di complessità clinica

generalmente inferiore rispetto alle aree ospedaliere e di continuità terapeutica. Si individua infine l'ambito della continuità terapeutica tra ospedale e territorio, spesso indicato come area H-T, e riferibile ai farmaci di classe A-PHT. Si tratta di medicinali destinati a pazienti cronici o affetti da patologie complesse, per i quali la terapia viene avviata in ambito ospedaliero ma prosegue nel tempo sul territorio. In questo caso, lo strumento di riferimento è il Prontuario della Distribuzione Diretta (PHT) e la dispensazione avviene tramite le strutture sanitarie pubbliche, sulla base di prescrizioni specialistiche corredate da piani terapeutici. L'introduzione del PHT, nel 2004, risponde all'esigenza di disporre di uno strumento di razionalizzazione dell'organizzazione dei servizi assistenziali regionali, in un contesto che negli ultimi anni ha conosciuto profonde trasformazioni: il ruolo dell'ospedale è sempre più orientato alla gestione delle fasi acute, delle situazioni di elevata criticità clinica e delle terapie ad alta complessità, mentre alla medicina territoriale è stata affidata in misura crescente la presa in carico della cronicità e la continuità delle cure nel lungo periodo. In questo quadro si inserisce la Legge n. 405 del 2001, che ha attribuito alle Regioni la facoltà di operare come acquirenti o negozianti esclusivi di quei medicinali che richiedono un controllo clinico ricorrente del paziente. Tale previsione normativa ha posto le basi per una gestione più strutturata e coordinata di specifiche categorie di farmaci, ma ha reso al contempo necessaria l'individuazione di criteri condivisi per definire in modo univoco quali medicinali potessero rientrare in tale ambito, determinando l'introduzione del PHT. Questo assetto richiede modelli in grado di garantire regolarità delle forniture, continuità del servizio e un coordinamento efficace tra ospedale, territorio, farmacie ospedaliere e, in alcuni casi, soggetti terzi coinvolti nella distribuzione. In funzione di tale classificazione dei farmaci, il sistema sanitario italiano ha sviluppato tre principali modelli di distribuzione: la Distribuzione Convenzionata (DC), la Distribuzione Diretta (DD) e la Distribuzione per Conto. La Distribuzione Convenzionata rappresenta il modello storicamente più consolidato e uniforme a livello nazionale e si basa sull'erogazione dei farmaci tramite la rete delle farmacie pubbliche e private convenzionate con il SSN. Si caratterizza per volumi elevatissimi, riguardanti prevalentemente i farmaci di classe A, cioè a bassa o media complessità clinica (con valore medio per confezione a carico del SSN di circa 9 €) e garantisce un'elevata capillarità territoriale, favorendo l'accessibilità del servizio e la prossimità al cittadino. Tuttavia, questo modello, caratterizzato da una gestione decentralizzata, presenta limitate possibilità di controllo diretto sull'appropriatezza terapeutica e sui consumi ed è fortemente influenzato dai meccanismi di remunerazione del servizio farmaceutico, che incidono sulla sostenibilità economica complessiva del sistema. La Distribuzione Diretta si configura invece come un modello centralizzato, nel quale i farmaci, prevalentemente di classe H e A-PHT, vengono acquistati e dispensati direttamente dalle strutture sanitarie pubbliche, in particolare dalle farmacie ospedaliere o da presidi territoriali dedicati. A differenza dei farmaci di fascia A, che hanno un prezzo fisso stabilito a livello nazionale dall'AIFA e comprensivo dei margini di guadagno per il grossista e il farmacista, i farmaci dispensati in DD sono acquistati direttamente dall'ospedale tramite negoziazioni con i produttori, che possono includere sconti obbligatori sul prezzo *ex-factory*, gare d'appalto e accordi di prezzo/volume. Con la Distribuzione Diretta, il Sistema Sanitario Nazionale ottiene quindi il massimo risparmio nella filiera del farmaco. Questo canale, che copre circa il 48% della spesa farmaceutica sostenuta dal SSN per un valore di 6,62

miliardi di euro, è utilizzato soprattutto per farmaci ad alto costo (valore medio per confezione di circa 640 €), ad elevata complessità clinica o soggetti a specifici vincoli regolatori, come piani terapeutici e registri di monitoraggio AIFA. La Distribuzione Diretta consente un controllo più stringente sull'appropriatezza prescrittiva, sulla continuità terapeutica e sulla farmacovigilanza, nonché una maggiore capacità di governo della spesa farmaceutica. Al contempo, essa comporta un significativo impatto organizzativo e logistico, sia per le strutture sanitarie sia per i pazienti, che sono spesso chiamati a recarsi fisicamente presso i presidi ospedalieri per il ritiro dei farmaci, con conseguenti criticità in termini di accessibilità, equità e carico assistenziale, soprattutto per fragili e cronici. Tra questi due modelli si colloca la Distribuzione per Conto, che rappresenta una soluzione ibrida che copre circa il 15% della spesa farmaceutica, per un valore approssimativo di 2 miliardi di euro. In questo caso, i farmaci - il cui valore medio per confezione a carico del SSN, in questo caso, scende a circa 40 € - vengono acquistati dalle Aziende Sanitarie Locali, ma la dispensazione avviene attraverso le farmacie territoriali, sulla base di specifici accordi regionali. La Distribuzione per Conto consente di mantenere il controllo pubblico sugli acquisti e sui flussi economici, sfruttando al contempo la capillarità della rete delle farmacie di comunità per avvicinare il servizio al cittadino. Questo modello ha conosciuto una significativa diffusione negli ultimi anni, anche come risposta alle esigenze di decongestionamento delle strutture ospedaliere e di rafforzamento dell'assistenza territoriale durante la pandemia. Con la conversione in legge del Decreto Rilancio (D.L. 34/2020) e con l'applicazione del Decreto Liquidità (D.L. 23/2020), il legislatore introduce la possibilità di ampliare la gamma dei farmaci ospedalieri che possono essere dispensati tramite le farmacie territoriali. Tuttavia, l'applicazione di questo modello risulta fortemente eterogenea sul territorio nazionale, a causa delle differenze nei modelli di governance regionale e nei sistemi informativi, generando potenziali disuguaglianze nell'accesso ai servizi e complessità gestionali lungo la filiera. Lo schema di flusso dei percorsi prescrittivi e distributivi dei farmaci, riportato in figura 1.4, consente di rappresentare in modo sistematico l'articolazione dei canali distributivi all'interno del Servizio Sanitario Nazionale, mettendo in relazione il setting assistenziale, il soggetto prescrittore e la modalità di dispensazione. Il primo elemento di distinzione è rappresentato dal setting di cura, che separa i pazienti ricoverati (in patient) dai pazienti non ricoverati (out patient). Nel caso dei pazienti in regime di ricovero, l'assistenza farmaceutica è integralmente gestita dalla farmacia ospedaliera e la spesa ricade nella spesa farmaceutica ospedaliera, tipicamente associata a medicinali di classe H, caratterizzati da elevata complessità clinica e destinati all'uso esclusivo in ambito ospedaliero. Per i pazienti out patient, il percorso si articola in modo più articolato e coinvolge una pluralità di attori e canali distributivi. A valle della prescrizione farmaceutica, il sistema distingue innanzitutto il soggetto prescrittore: il medico o il pediatra di libera scelta, lo specialista ambulatoriale operante in ambito ospedaliero o distrettuale, e i centri specialistici ospedalieri, spesso caratterizzati dall'utilizzo di piani terapeutici o strumenti prescrittivi strutturati. In funzione di tale distinzione, e delle caratteristiche cliniche e regolatorie del farmaco prescritto, la dispensazione può avvenire attraverso diversi canali. Le prescrizioni effettuate dai medici di Medicina Generale e dai pediatri, così come quelle provenienti dalla specialistica ambulatoriale ospedaliera o distrettuale, confluiscono nella dispensazione convenzionata, affidata alle farmacie

territoriali pubbliche e private. Diversamente, le prescrizioni originate dai centri specialistici ospedalieri, supportate da piani terapeutici, attivano modelli distributivi sottoposti a maggiore controllo da parte del SSN, rappresentati dalla distribuzione per conto o diretta. Tale assetto consente di modulare il canale distributivo in funzione della complessità della terapia e delle esigenze di monitoraggio clinico, mantenendo il governo del farmaco in capo alle strutture sanitarie pubbliche.

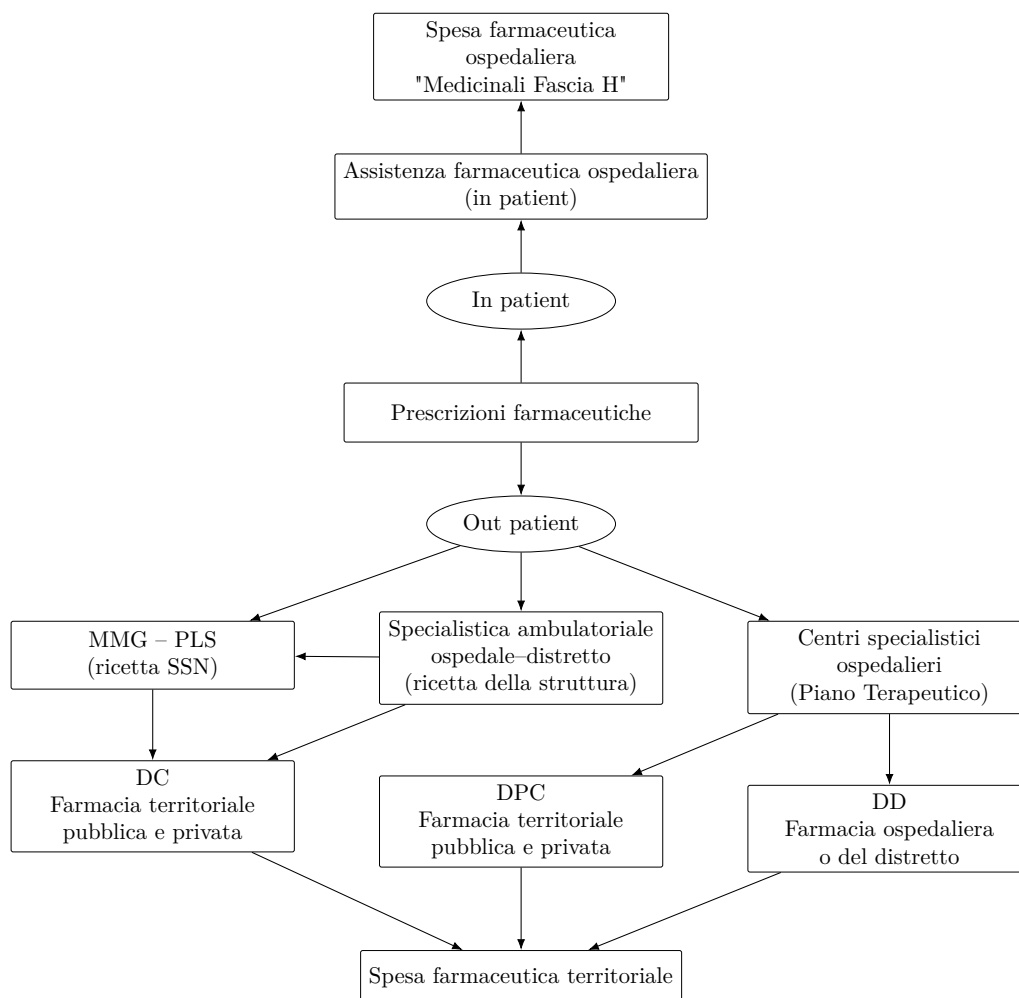


Figura 1.4: Schema dei flussi prescrittivi e dei principali modelli di distribuzione.

Il confronto tra i tre modelli distributivi evidenzia come ciascuno di essi presenti specifici punti di forza e di debolezza, che devono essere valutati in relazione agli obiettivi di appropriatezza clinica, sostenibilità economica, equità di accesso e qualità del servizio. In particolare, l'evoluzione del contesto sanitario, caratterizzata dall'aumento della cronicità, dall'introduzione di terapie sempre più complesse e dall'orientamento verso la domiciliarizzazione delle cure, rende sempre più evidente il ruolo strategico della logistica sanitaria come elemento di integrazione tra ospedale e territorio. La scelta del modello distributivo non incide infatti solo sugli aspetti economici e regolatori, ma determina l'organizzazione dei flussi logistici, la pianificazione delle consegne, la gestione dei magazzini e la possibilità di sviluppare servizi innovativi come l'home delivery dei farmaci, ponendo le basi per una sanità più

prossima al paziente, efficiente e sostenibile [9] [10] [11].

1.2.4 Evoluzioni e trend

Le evoluzioni del mercato, relative alla logistica sanitaria in Italia, evidenziano in particolare cinque macro-trend. Un primo elemento di discontinuità rispetto ai modelli tradizionali è rappresentato dal crescente bisogno di specializzazione logistica, legato all'introduzione di terapie avanzate, farmaci biotecnologici e terapie geniche. Tali prodotti impongono standard operativi estremamente elevati, che si traducono in una gestione rigorosa della catena del freddo, in tempi di consegna fortemente compressi e in un coordinamento sempre più stretto tra i diversi attori della filiera, rendendo la logistica una componente essenziale per la sicurezza e l'efficacia del trattamento terapeutico. Il settore è poi oggi chiamato a sviluppare livelli crescenti di flessibilità ed efficienza operativa: la tendenza alla riduzione delle scorte presso magazzini ospedalieri e farmacie, unita alla necessità di rispondere tempestivamente a urgenze cliniche e variazioni imprevedute della domanda, richiede modelli logistici capaci di gestire ordini caratterizzati da volumi ridotti, elevata frammentazione e frequenza crescente. In questo contesto, assumono particolare rilevanza soluzioni organizzative e tecnologiche in grado di supportare modalità di approvvigionamento *on demand* e una pianificazione dinamica dei flussi. Un terzo asse di evoluzione riguarda la crescente centralità del paziente e la conseguente spinta verso modelli di assistenza domiciliare. La domiciliarizzazione delle cure, pur rappresentando oggi una quota ancora limitata del totale delle spedizioni logistiche, è destinata a crescere in modo significativo nei prossimi anni, richiedendo una maggiore capillarità territoriale e una più stretta integrazione tra ospedali, farmacie, servizi territoriali e operatori logistici. A questi aspetti si affianca poi una crescente attenzione alla qualità del servizio e alla sostenibilità, intesa nella sua dimensione ambientale, sociale e di governance. Il settore è sottoposto a una pressione crescente per ridurre le emissioni, contenere la produzione di rifiuti e ottimizzare l'impiego delle risorse, senza compromettere l'affidabilità, la sicurezza e la tracciabilità dei processi logistici. Ciò comporta la necessità di ripensare le scelte di trasporto, le configurazioni di rete e le logiche di distribuzione, integrando obiettivi economici e ambientali. Infine, il contesto distributivo si caratterizza per una crescente multicanalità, che affianca al ruolo tradizionale della farmacia nuovi modelli di accesso al farmaco e ai dispositivi sanitari. L'e-commerce, in particolare per i prodotti da banco, gli integratori e i dispositivi medici, si sta progressivamente consolidando, sostenuto da un paziente-consumatore sempre più informato e consapevole. La diffusione di soluzioni come il Click & Collect, i locker sanitari e le consegne express introduce ulteriori complessità organizzative e tecnologiche, imponendo alla filiera healthcare un ripensamento complessivo dei processi logistici e dei sistemi di supporto decisionale. Parallelamente a questi trend, si registra anche un cambiamento nella percezione del ruolo della logistica all'interno delle strutture sanitarie, che evidenzia la crescente consapevolezza di investire in pianificazione, digitalizzazione e integrazione dei processi logistici. Nel 71% delle strutture ospedaliere la logistica è oggi considerata un'attività strategica con impatto sull'efficienza organizzativa e sulle attività cliniche, percentuale che arriva al 93% se si considera il punto di vista degli addetti ai lavori. Solo il 2% delle strutture ospedaliere non ha intenzione di implementare progetti

per il miglioramento della logistica, mentre l'83% adotterà entro 3-5 anni soluzioni tecnologiche e digitali a supporto, quasi il doppio rispetto al passato. La maggior parte degli investimenti sono orientati alla centralizzazione della logistica, seguiti da quelli sull'esternalizzazione di alcune attività e da quelli sull'internalizzazione di nuove figure con competenze specifiche, come l'ingegnere logistico. In questo scenario, l'analisi dei processi logistici e l'applicazione di strumenti di supporto decisionale assumono un ruolo centrale per valorizzare la logistica healthcare come funzione strategica. In particolare, l'adozione di metodologie di analisi e di modelli di ottimizzazione consente di individuare criticità operative e opportunità di miglioramento, contribuendo a rafforzare l'efficienza e la sostenibilità dei servizi logistici sanitari, anche in contesti non profit e ad alta valenza sociale. Questa fase di trasformazione della logistica healthcare si confronta tuttavia con rilevanti criticità strutturali, in particolare sul versante dell'interazione con il settore pubblico. Tra i principali fattori di complessità emergono una burocrazia articolata e una governance frammentata, che si contrappongono a un contesto caratterizzato da ingenti investimenti da parte degli operatori privati della filiera. Tali elementi contribuiscono a ostacolare il pieno sviluppo della supply chain sanitaria, limitandone l'efficacia e l'omogeneità sul territorio nazionale. Un primo nodo critico è riconducibile alla forte eterogeneità dei modelli organizzativi e di acquisto, derivante dal regionalismo sanitario, che si traduce in pratiche di approvvigionamento differenziate, assetti logistici non uniformi e, di conseguenza, in potenziali disparità nell'accesso ai servizi da parte dei cittadini. Questa frammentazione rende complessa la standardizzazione dei processi logistici e riduce le possibilità di sfruttare economie di scala e sinergie operative. In tale contesto, l'adozione di modelli di Partenariato Pubblico-Privato (PPP), con un coinvolgimento strutturato degli operatori logistici specializzati, viene indicata come una possibile leva per migliorare l'efficienza complessiva del sistema, generare risparmi per il Servizio Sanitario Nazionale e consentire ai farmacisti ospedalieri di concentrarsi maggiormente su attività a più elevato valore clinico, quali l'appropriatezza terapeutica, la farmacovigilanza e il risk management. Un'ulteriore criticità riguarda le modalità di impostazione delle gare pubbliche, frequentemente caratterizzate da un forte orientamento al contenimento dei prezzi, a discapito di una valutazione più ampia degli investimenti in qualità del servizio, sicurezza dei processi, digitalizzazione e sostenibilità ambientale. Questo approccio, che coinvolge anche il rapporto con l'industria farmaceutica, rischia di indebolire la capacità del sistema distributivo di rispondere a esigenze operative sempre più complesse, soprattutto in un contesto segnato da un aumento strutturale dei costi energetici e da requisiti di compliance normativa sempre più stringenti. Infine, nonostante gli ingenti investimenti effettuati negli ultimi anni dalle imprese logistiche in ambito di automazione e digitalizzazione, permangono significative difficoltà di integrazione con i sistemi informativi del settore pubblico, quali quelli ospedalieri, delle farmacie ospedaliere e delle piattaforme sanitarie regionali. Il disallineamento tra sistemi tecnologici rappresenta un ulteriore fattore di inefficienza, che non solo limita le potenzialità di coordinamento lungo la filiera, ma rischia anche di rallentare lo sviluppo di servizi innovativi come l'home delivery e la gestione domiciliare dei pazienti, elementi centrali nei modelli emergenti di assistenza territoriale. Le prospettive di sviluppo della logistica healthcare nei prossimi anni evidenziano un insieme di sfide interconnesse che riguardano in particolare la domiciliarizzazione

delle cure, l'innovazione tecnologica, la sostenibilità e l'evoluzione delle competenze professionali. La crescente diffusione di modelli di home delivery e home caring rappresenta un vero e proprio cambio di paradigma verso una sanità più proattiva e orientata alla presa in carico del paziente al di fuori delle strutture tradizionali. Tale trasformazione richiede non solo un adeguamento del quadro normativo, ma anche lo sviluppo di modelli collaborativi tra settore pubblico, operatori privati e partner tecnologici, supportati da piattaforme digitali integrate e servizi sempre più personalizzati. Parallelamente, l'adozione di tecnologie avanzate e di soluzioni basate sull'intelligenza artificiale è già in corso e assumerà un ruolo sempre più centrale nel ridisegno dei processi logistici. L'automazione dei magazzini, l'ottimizzazione dei percorsi di consegna e il miglioramento delle attività di pianificazione e previsione della domanda costituiscono ambiti nei quali l'innovazione tecnologica può generare benefici significativi in termini di efficienza operativa, riduzione degli errori e qualità del servizio. In questo contesto, l'utilizzo di strumenti di supporto decisionale e di modelli avanzati di pianificazione diventa un fattore abilitante per la gestione di una domanda sanitaria sempre più variabile e complessa. Questi processi di trasformazione si scontrano tuttavia con una persistente carenza di personale, che interessa sia le figure operative meno qualificate sia i profili altamente specializzati. Il settore richiede competenze nuove e diversificate, che spaziano dalla gestione di sistemi automatizzati e soluzioni di intelligenza artificiale alla conoscenza specifica della logistica sanitaria e dei modelli di partenariato pubblico-privato. In tale scenario, emerge la necessità di investire in programmi strutturati di formazione continua e upskilling per tutti gli attori della filiera, nonché di migliorare l'attrattiva del settore nei confronti delle nuove generazioni. Nel complesso, la distribuzione healthcare si trova di fronte a una fase di profonda trasformazione, nella quale la capacità di integrare specializzazione, innovazione tecnologica e sostenibilità all'interno di modelli collaborativi rappresenta la chiave per garantire elevati livelli di qualità, sicurezza e tempestività delle cure. La sfida futura consiste quindi nel superare approcci frammentati e favorire una visione condivisa tra tutti gli attori coinvolti, al fine di costruire un sistema sanitario sempre più proattivo, centrato sul paziente e supportato da soluzioni tecnologiche integrate [5] [12] [13] [14] [15] [16].

Tecnologie a servizio dell'Healthcare e il contributo dell'AI

La progressiva trasformazione dei sistemi sanitari contemporanei è fortemente influenzata dall'introduzione di tecnologie digitali avanzate, che stanno ridefinendo in modo strutturale i processi clinici, organizzativi e logistici dell'healthcare. In particolare, la logistica sanitaria si configura oggi come uno dei principali ambiti di applicazione delle tecnologie digitali, in quanto chiamata a garantire sicurezza, tracciabilità, tempestività e affidabilità lungo catene di fornitura sempre più articolate e distribuite sul territorio. Un primo livello di innovazione riguarda la digitalizzazione dei flussi informativi, resa possibile dall'adozione di sistemi informativi integrati e interoperabili. L'introduzione di piattaforme digitali per la gestione dei dati sanitari e logistici consente di superare una visione frammentata dei processi, favorendo una maggiore integrazione tra ospedale, territorio e domicilio del paziente. In questo quadro, tecnologie come l'Internet of Things (IoT) assumono un ruolo centrale, permettendo il monitoraggio continuo delle condizioni ambientali e operative dei prodotti

sanitari lungo tutto il ciclo di vita logistico. Sensori intelligenti applicati a contenitori, mezzi di trasporto e infrastrutture di stoccaggio consentono di controllare parametri critici quali temperatura, umidità, vibrazioni ed esposizione alla luce, risultando fondamentali per la gestione della catena del freddo e per la conservazione di farmaci e terapie ad alta sensibilità. Tali soluzioni rafforzano in modo significativo la sicurezza del processo distributivo e riducono il rischio di non conformità, sprechi e danni economici e clinici. Accanto ai sistemi di monitoraggio, le tecnologie di identificazione automatica e tracciabilità, come RFID, permettono di associare in maniera univoca ogni unità di prodotto a informazioni strutturate relative a origine, lotto, scadenza, percorso logistico e destinatario finale, senza necessità di lettura e trasmettendo i dati dell'etichetta in tempo reale. Questa capacità di tracciamento puntuale risulta particolarmente rilevante non solo per la gestione ordinaria dei flussi, ma anche per la prevenzione della contraffazione, per l'adempimento agli obblighi normativi e per la gestione delle emergenze sanitarie, come dimostrato durante la pandemia. I dati non vanno solo monitorati e identificati, ma anche archiviati e conservati correttamente: la blockchain è una tecnologia che permette la registrazione e l'archiviazione delle operazioni effettuate all'interno di un sistema in modo sicuro, trasparente e immutabile nel tempo. In ambito di logistica farmaceutica, ciò si traduce nella possibilità di registrare in maniera indelebile ogni fase del ciclo di vita del prodotto — dalla produzione allo stoccaggio, dal prelievo al trasporto fino alla consegna finale. Consultare il registro della blockchain consente pertanto di rintracciare i farmaci lungo tutta la catena logistica, archiviando permanentemente e immutabilmente tutti i dati ad essi relativi. La disponibilità di dati affidabili e in tempo reale rappresenta inoltre un prerequisito essenziale per l'introduzione di strumenti avanzati di analisi e supporto decisionale. In questo scenario si inserisce il contributo sempre più rilevante dell'Intelligenza Artificiale (AI), che sta progressivamente affermandosi come tecnologia chiave per l'ottimizzazione dei processi sanitari e logistici. Gli algoritmi di machine learning e di analisi predittiva consentono di elaborare grandi volumi di dati eterogenei, trasformandoli in informazioni utili per il supporto alle decisioni operative e strategiche. In ambito logistico, l'AI trova applicazione nella previsione della domanda, nella pianificazione delle scorte, nella programmazione delle consegne e nell'ottimizzazione dei percorsi di trasporto. Tali strumenti permettono di ridurre sprechi, migliorare l'utilizzo delle risorse e aumentare la resilienza del sistema rispetto a variazioni improvvise della domanda, come nel caso di emergenze sanitarie o picchi stagionali. Un aspetto particolarmente rilevante riguarda l'integrazione dell'AI con i sistemi di gestione del magazzino (Warehouse Management System – WMS) e con le piattaforme di coordinamento logistico. L'evoluzione dei WMS verso soluzioni intelligenti consente non solo di automatizzare le operazioni di picking, stoccaggio e movimentazione, ma anche di supportare decisioni complesse relative all'allocazione delle scorte, alla gestione delle scadenze secondo logiche diverse e alla prioritizzazione delle richieste in base alla criticità clinica. In ambito healthcare, tali funzionalità assumono un valore strategico, in quanto incidono direttamente sulla continuità terapeutica e sulla sicurezza del paziente. L'AI, in questo senso, non sostituisce il ruolo dei professionisti sanitari, ma ne potenzia le capacità decisionali, offrendo strumenti di supporto basati su evidenze quantitative e modelli previsionali. Se l'AI tradizionale eccelle nell'analisi di dati esistenti, quella generativa – GenAI – può generare nuovi contenuti, come layout di magazzino ottimizzati, programmi di consegna simulati e

persino materiali di formazione per il personale logistico. In intralogistica, la GenAI può essere impiegata per simulare e ottimizzare processi logistici complessi: ad esempio, potrebbe generare migliaia di possibili layout e workflow di magazzino per individuare la configurazione più efficiente. Inoltre, può creare piani di instradamento dinamici per gli AMR (*Autonomous Mobile Robot*) basati su condizioni in tempo reale all'interno della struttura. Con la maturazione della tecnologia, la GenAI è destinata a diventare uno strumento potente per realizzare operazioni di logistica sanitaria più intelligenti, adattive ed efficienti. Tuttavia, l'adozione dell'Intelligenza Artificiale in sanità solleva anche questioni rilevanti in termini di governance, responsabilità e sostenibilità. La complessità dei processi decisionali sanitari richiede che l'AI sia utilizzata come strumento di supporto e non come sostituto del giudizio umano, soprattutto nei contesti ad alta criticità clinica. Inoltre, l'efficacia di tali soluzioni dipende fortemente dalla qualità dei dati disponibili, dall'interoperabilità dei sistemi informativi e dalla capacità delle organizzazioni sanitarie di integrare competenze tecnologiche, gestionali e cliniche. In questo quadro, emerge la necessità di modelli di governance chiari e condivisi, in grado di garantire trasparenza, sicurezza dei dati e allineamento con gli obiettivi di salute pubblica. Nel complesso, la convergenza tra digitalizzazione, automazione logistica e Intelligenza Artificiale rappresenta uno dei principali driver di innovazione dell'healthcare contemporaneo. Il valore di queste tecnologie non risiede esclusivamente nell'aumento dell'efficienza operativa, ma nella loro capacità di abilitare nuovi modelli organizzativi e assistenziali, più flessibili, territoriali e centrati sul paziente. In tale prospettiva, la tecnologia diventa un elemento strutturale per sostenere la transizione verso una sanità di prossimità, integrata e sostenibile, all'interno della quale la logistica assume un ruolo strategico nel garantire che cure, farmaci e servizi raggiungano il paziente nel luogo e nel momento in cui sono realmente necessari [17] [18].

1.3 Home delivery dei farmaci

Il 2024 segna la fine della crisi della mortalità legata alla pandemia, con un recupero completo della speranza di vita ai livelli pre-Covid. Con 83,4 anni di aspettativa di vita – il dato più elevato degli ultimi 20 anni – l'Italia si conferma come uno dei Paesi europei più longevi, con una popolazione over 65 che ha superato il 24% del totale ed è destinata a crescere, fino al raggiungimento di uno stimato 35,9% entro il 2050. Questi risultati, se pur incoraggianti, presuppongono un aumento del rischio di malattie croniche, le quali colpiscono oltre la metà dei cittadini con età compresa tra 75 e 84 anni, e di perdita dell'autosufficienza, acuito dal mutamento della struttura familiare, spesso costituita da persone sole. Questo crescente bisogno di assistenza è solo in parte fronteggiato dall'Assistenza Domiciliare Integrata: l'ADI eroga mediamente 14 ore all'anno per assistito, un dato che racconta il divario strutturale tra bisogni e risposte. Il grafico a barre in fig. 1.5 riporta la copertura del servizio nel 2023, in termini di assistiti over 65 rispetto alla popolazione anziana.

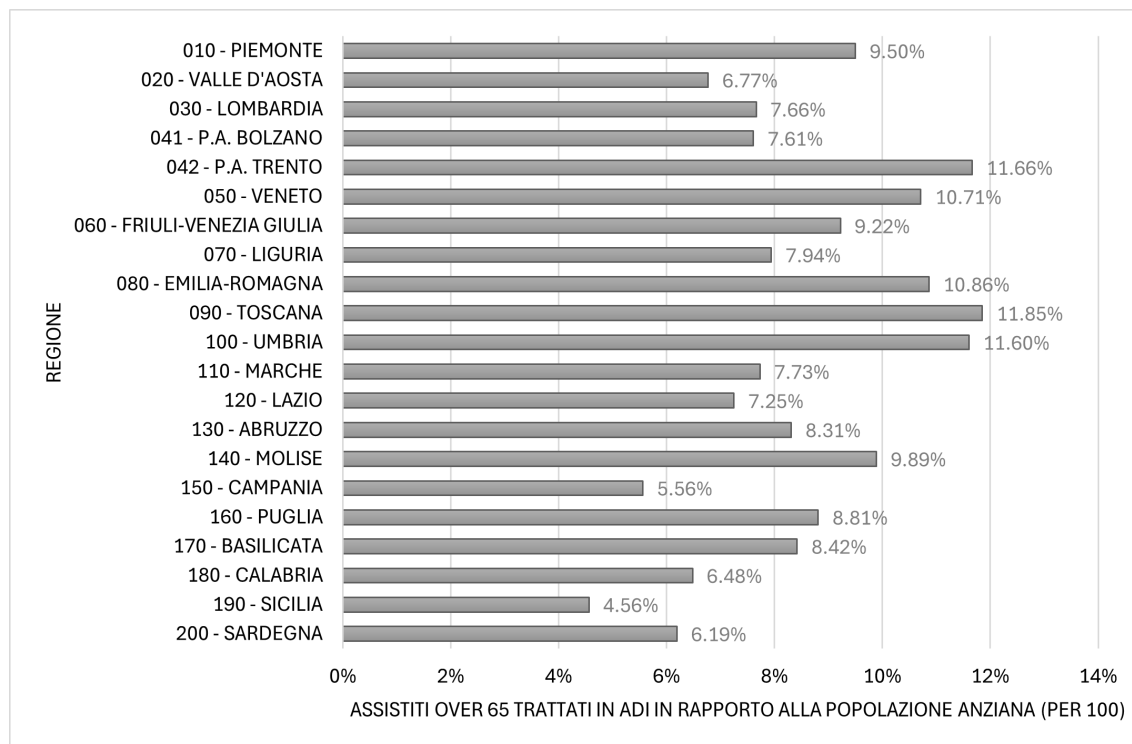


Figura 1.5: Assistiti over 65 trattati in ADI in rapporto alla popolazione anziana - 2023

Nel nuovo panorama sanitario nazionale che sta evolvendo, gli Home Care Provider (HCP), fornitori di servizi e assistenza domiciliari, ricoprono pertanto un ruolo sempre più centrale, offrendo terapie salvavita, nutrizione artificiale, prestazioni sanitarie e riabilitative, monitoraggio da remoto con strumenti di telemedicina e fornitura di ausili e medicinali. Con quest'ultima prestazione, nello specifico, si entra nel merito di un servizio che, nato nel periodo della pandemia, si sta dimostrando una risorsa per la comunità: l'home delivery farmaceutico. Nelle prime fasi dell'emergenza sanitaria, una quota rilevante di pazienti fragili, anziani o sottoposti a isolamento domiciliare si è trovata nell'impossibilità di recarsi fisicamente presso farmacie o strutture ospedaliere per il ritiro dei medicinali, in particolare di quelli erogati attraverso il canale della distribuzione diretta. Tale contesto ha reso evidente la necessità di ripensare in tempi rapidi le modalità di accesso alle terapie, al fine di garantire la continuità assistenziale e terapeutica anche in condizioni di forte limitazione della mobilità. Per rispondere a questa esigenza, sono state attivate diverse iniziative di consegna domiciliare dei farmaci, sostenute sia da aziende farmaceutiche sia da attori del sistema sanitario e del Terzo Settore. In particolare, alcune case farmaceutiche hanno promosso servizi dedicati alla distribuzione a domicilio dei medicinali normalmente dispensati dalle farmacie ospedaliere o dalle ASL. Tale servizio si è rivelato di grande valore, considerando che le farmacie ospedaliere sono in numero inferiore rispetto a quelle retail e che c'era la necessità urgente di trovare un modo per consegnare al domicilio dei pazienti cronici quelle terapie che fino ad allora venivano abitualmente ritirate nei punti di distribuzione diretta. Nonostante ciò, anche il canale retail si è attivato: in questo quadro si collocano, ad esempio, le iniziative promosse da

Federfarma, Federazione Nazionale delle Farmacie Private, in collaborazione con la CRI, Croce Rossa Italiana, e Assofarm, Associazione Nazionale Farmacie Comunali, finalizzate a garantire la consegna domiciliare dei farmaci normalmente acquistati presso le farmacie di comunità. Su quest'onda i farmacisti ospedalieri della SIFO hanno ritenuto opportuno affidare al Centro Studi della Società la realizzazione di un progetto sull'home delivery, a seguito e a prescindere dall'emergenza sanitaria. Questo avrebbe nuovamente l'obiettivo primario di eliminare la necessità, per il paziente, di recarsi presso le strutture ospedaliere per il ritiro delle terapie, e di ridurre il carico organizzativo e assistenziale gravante sui caregiver familiari. Inoltre, consentirebbe di orientare in modo più mirato gli interventi di dispensazione domiciliare dei farmaci, adattandoli alle esigenze specifiche dei diversi territori. I benefici attesi, quindi, non riguarderebbero esclusivamente il paziente, ma si estenderebbero anche alle strutture ospedaliere, che potrebbero così pianificare in modo più efficiente la distribuzione dei medicinali, superando una gestione prevalentemente reattiva e migliorando il coordinamento dei flussi logistici. L'home delivery dei farmaci rappresenta un intervento apparentemente semplice ma di elevato impatto per i cittadini che presentano limitazioni alla mobilità o condizioni di particolare fragilità. Garantire l'accesso continuativo alle terapie direttamente presso il domicilio del paziente costituisce infatti un fattore abilitante per la continuità dell'assistenza e per l'effettiva presa in carico sul territorio. Un elemento centrale in questo ambito è rappresentato dall'aderenza terapeutica: l'impossibilità di ritirare tempestivamente i farmaci può compromettere il rispetto del piano terapeutico prescritto, con potenziali ricadute negative sull'evoluzione della patologia e sull'efficacia complessiva del trattamento. Tale rischio risulta particolarmente rilevante nel caso di patologie croniche, per le quali la continuità di cura è essenziale al fine di prevenire il peggioramento delle condizioni cliniche. La rilevanza del tema risulta ulteriormente accentuata se si considera la marcata eterogeneità territoriale del contesto italiano, sia in termini di caratteristiche geografiche e infrastrutturali, sia con riferimento ai diversi modelli organizzativi e distributivi adottati a livello regionale. In tale scenario, la consegna dei farmaci a domicilio non può essere concepita come un servizio standardizzato, ma deve essere progettata e gestita in modo flessibile, tenendo conto delle specifiche esigenze dei pazienti e delle peculiarità dei territori di riferimento. Una personalizzazione del servizio, integrata con i percorsi di cura e con le reti assistenziali locali, rappresenta pertanto un elemento chiave per garantire efficacia, equità e qualità dell'assistenza [19] [20] [21] [22].

1.3.1 Modelli attuali di home delivery

In ambito logistico-sanitario, l'home delivery dei farmaci coincide con la fase dell'ultimo miglio della supply chain, ossia con il trasferimento del medicinale dall'ultimo nodo distributivo al domicilio del paziente, che diventa luogo di cura. La consegna domiciliare di farmaci va interpretata non come una semplice attività di trasporto, ma come un servizio logistico che si innesta su modelli distributivi differenti. Nel panorama nazionale gli attori coinvolti sono molteplici: le farmacie territoriali (retail), il SSN – con Regioni, ASL e farmacie ospedaliere –, il Terzo Settore e gli operatori logistici specializzati nel trasporto sanitario. La L. n. 69/2009, all'articolo 11, ha previsto la possibilità per le farmacie di fornire nuovi servizi in ambito sanitario ai

cittadini, promuovendo il nuovo modello della "Farmacia dei Servizi". Il successivo D. lgs. n. 153/2009, all'articolo 1, ha quindi delineato i nuovi servizi che le farmacie possono erogare, successivamente estesi dalla L. n. 178/2009 e, a seguito della pandemia, dal dl. n. 24/2022. Tra i servizi identificati rientrano la partecipazione delle farmacie all'ADI, realizzata attraverso molteplici prestazioni, tra cui la consegna domiciliare di farmaci e dispositivi medici, la preparazione e la dispensazione a domicilio delle miscele per la nutrizione artificiale e antidolorifici e la dispensazione per conto delle strutture sanitarie dei farmaci a distribuzione diretta. Per le persone che si trovano nell'impossibilità di raggiungere la farmacia, causa disabilità, patologie croniche gravi o mancanza di accompagnatori, Federfarma propone il servizio gratuito di consegna domiciliare, offerto dalle farmacie private associate (non partecipano, quindi, all'iniziativa le farmacie comunali). Federfarma è di fatto l'attore nazionale più riconoscibile quando si parla di home delivery nell'ambito delle farmacie private, con il servizio di consegna gratuita a domicilio accessibile via numero verde. Il modello adottato è un "Hub & Spoke", con centralizzazione delle funzioni più complesse tramite hub, il quale si collega a una rete di strutture periferiche (spoke). Federfarma coordina il servizio, ricevendo la richiesta del paziente e mediando la presa in carico con una farmacia territoriale associata, con la quale l'assistito sarà messo in contatto per concordare modalità e tempi di consegna. Anche Assofarm promuove e supporta la consegna di farmaci a domicilio, con un servizio che è però gestito a livello locale dalle singole farmacie comunali che decidono di aderirvi. Il Codice Deontologico del farmacista, all'articolo 28, regola nello specifico la consegna dei medicinali presso il domicilio del paziente, la quale può essere organizzata, su iniziativa del farmacista, purchè il servizio sia svolto nel rispetto di quanto previsto dagli articoli 11, 12 e 36 (rispettivamente riguardanti la libera scelta della farmacia, le attività di consiglio e consulenza, che prevedono un'informazione sanitaria chiara, corretta e completa, e la riservatezza e il segreto professionale). Un aspetto importante da considerare è però il confine tra dispensazione e consegna del farmaco. La prima si riferisce all'atto di vendita del farmaco e deve essere necessariamente operata da un farmacista. Ciò implica che, per i medicinali con prescrizione, la consegna a domicilio possa essere effettuata soltanto dopo che in farmacia sia avvenuta la spedizione della ricetta originale, necessità contraddittoria con l'obiettivo dell'home delivery di evitare lo spostamento del paziente. A questo proposito, il percorso di dematerializzazione delle ricette ha subito, con l'emergenza pandemica, una straordinaria accelerazione, culminata con l'estensione della digitalizzazione alle "ricette bianche", in forza del Decreto MEF del 30 dicembre 2020. La possibilità di inviare le prescrizioni farmaceutiche in modo digitale ha fatto esplodere la consegna a domicilio di farmaci, introducendo nuove opportunità. Per quanto riguarda invece i farmaci della continuità ospedale-territorio, in distribuzione diretta, gli attori centrali sono le farmacie ospedaliere/ASL, rappresentate dalla SIFO, e i loro modelli di dispensazione. Emerge la necessità che il farmacista ospedaliero partecipi attivamente alla cabina di regia della Centrale Operativa Territoriale, fungendo da elemento di raccordo tra ospedale e servizi territoriali. In questa prospettiva, secondo quanto dichiarato durante il XLIII congresso SIFO, la logistica territoriale deve essere ripensata in modo strutturale, superando gli assetti frammentati a favore di modelli in grado di garantire la tracciabilità completa del processo distributivo e di assicurare la copertura di tutti i punti di consegna, inclusi quelli situati in aree rurali o caratterizzate da criticità morfologiche, attraverso una

rete di centri di responsabilità aziendale. Il modello organizzativo delineato prevede una distribuzione qualificata dei farmaci in tutti i setting dell'assistenza sanitaria territoriale, supportata da adeguate dotazioni tecnologiche. In tale configurazione, la distribuzione diretta viene assicurata in modo continuativo, sette giorni su sette, all'interno delle strutture di prossimità, come le Case e gli Ospedali di Comunità, consentendo ai pazienti di ritirare le terapie presso il punto più vicino al proprio domicilio mediante sistemi digitali di identificazione. In questo quadro si parla anche del ruolo decisivo dell' "ultimo miglio", in coerenza con l'impostazione del DM 77/2022 che individua la casa come primo luogo di cura. A tale esigenza risponde lo sviluppo di modelli strutturati di consegna domiciliare dei farmaci, concepiti come servizi ad alta valenza sociale e rivolti in particolare ai pazienti fragili, soli o con difficoltà di accesso alle strutture sanitarie. L'home delivery dei farmaci destinati a terapie continuative e croniche si configura così come uno strumento integrativo dell'assistenza domiciliare, in grado di ridurre gli spostamenti impropri, migliorare l'aderenza terapeutica e alleggerire il carico assistenziale su caregiver e strutture ospedaliere. Dal punto di vista operativo, il processo di consegna domiciliare è governato dal farmacista ospedaliero del centro prescrittore, in stretta collaborazione con il medico specialista e in costante connessione con le Centrali Operative Territoriali e le Centrali Operative Aziendali. Il modello si fonda sull'utilizzo di piattaforme logistiche certificate, dotate di repository centrali e orientate alla costruzione di database unici, interoperabili e bidirezionali a livello nazionale. Questo approccio rappresenta un'applicazione concreta delle opportunità offerte dal DM 77 e dal PNRR per la riorganizzazione dei servizi sanitari territoriali, valorizzando la trasformazione digitale come leva per riprogettare i percorsi di cura e la rete distributiva dei farmaci. È poi da sottolineare che, per il servizio di trasporto e consegna vero e proprio, alcune farmacie si appoggiano a corrieri specializzati o enti del Terzo Settore, che spesso coinvolgono il volontariato, pur restando in capo al farmacista la responsabilità finale dell'intero processo di dispensazione e la garanzia, da parte dei partner terzi, del rispetto delle condizioni di sicurezza e qualità. Il Terzo Settore può rappresentare un abilitatore di prossimità (capillarità, presidio sociale, accessibilità) ma va inserito in un modello con responsabilità chiare e standard minimi. In termini operativi, il punto chiave è la governance della catena di custodia: la farmacia (o la struttura sanitaria) mantiene responsabilità e controllo sul processo e può formalizzare la collaborazione con un ETS tramite accordi/protocolli che definiscano ruoli, modalità di ritiro-consegna, identificazione del destinatario/delegato, gestione di eventuali anomalie (mancata consegna, resi), e soprattutto requisiti minimi di qualità (integrità del collo, eventuale temperatura controllata, tempi massimi). Un esempio concreto di collaborazione con il volontariato, attivato e prorogato nel tempo, è il Protocollo Federfarma-Croce Rossa Italiana, già precedentemente citato, per la consegna a domicilio, che mostra come il Terzo Settore possa inserirsi come "braccio operativo" dell'ultimo miglio all'interno di un perimetro definito e presidiato. Nel panorama nazionale dell'home delivery si inseriscono poi operatori logistici specializzati, i quali sempre più spesso utilizzano piattaforme di delivery. Qui il fulcro resta la farmacia territoriale fisica, cui appartiene il farmaco, che svolge la dispensazione avvalendosi di un servizio di delivery esterno. La piattaforma digitale, in questo caso, mette in contatto farmacia-paziente e organizza il servizio di consegna. Pharmap, ormai leader italiano per l'home delivery di farmaci, rappresenta un esempio di soluzione

di consegna domiciliare abilitate da piattaforme digitali. Gli utenti che scelgono di usare Pharmap possono ricevere a domicilio anche i farmaci che prevedono la ricetta medica, attraverso inserimento del codice della ricetta dematerializzata. Il funzionamento della piattaforma si basa su una logica farmacia-centrica: il paziente effettua l'ordine tramite applicazione o piattaforma web, selezionando una farmacia territoriale aderente, che rimane titolare della dispensazione del farmaco e responsabile dell'atto sanitario. La piattaforma non entra mai in possesso del medicinale, ma svolge un ruolo di intermediazione tecnologica e di coordinamento logistico dell'ultimo miglio. In termini di ultimo miglio, il modello Pharmap introduce una logica flessibile e territoriale, in cui la logistica si adatta alla distribuzione urbana e alle esigenze del paziente, piuttosto che a flussi standardizzati su scala nazionale. Ciò consente una maggiore reattività e un miglior livello di servizio, ma implica anche una gestione più complessa e frammentata rispetto ai modelli centralizzati. In questo senso, Pharmap può essere interpretato come una soluzione di "precision delivery" farmaceutica, coerente con l'evoluzione della sanità territoriale e con il crescente orientamento alla domiciliarità delle cure. Infine, l'home delivery si colloca anche come integrazione di un altro servizio in crescita: l'e-commerce farmaceutico e le piattaforme digitali per le vendite dei farmaci senza prescrizione (i cosiddetti SOP (Senza Obbligo di Prescrizione) e gli OTC. A differenza del modello precedentemente descritto, qui il fulcro è il canale digitale. Il paziente acquista online e la farmacia (o parafarmacia) opera come venditore a distanza. Il processo, in sequenza, è: ordine online, preparazione ordine e spedizione tramite corriere, con un trasporto che è in genere standardizzato e non personalizzato sul paziente fragile. È adatto a OTC, SOP, integratori e dispositivi medici, dal momento che il Ministero della Salute, con la Circolare del 10 maggio 2016, ha ricordato il divieto di vendere online farmaci con prescrizione. Nel complesso, il panorama nazionale dell'home delivery dei farmaci appare eterogeneo, in rapida evoluzione e caratterizzato da una crescente pluralità di attori e modelli organizzativi; tuttavia, la sua piena maturazione richiede ancora un quadro normativo più chiaro e omogeneo, in grado di definire ruoli, responsabilità e standard operativi condivisi [23] [24] [25].

1.4 Il contesto delle cure palliative

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) definisce le cure palliative come un "approccio che migliora la qualità della vita dei malati e delle loro famiglie che si trovano ad affrontare problematiche associate a malattie inguaribili, attraverso la prevenzione e il sollievo della sofferenza per mezzo di un'identificazione precoce e di un ottimale trattamento del dolore e di altre problematiche di natura fisica, psicologica, sociale e spirituale". Sono finalizzate a garantire la presa in carico globale della persona assistita e del suo nucleo familiare lungo l'intero percorso di malattia. Le cure palliative, infatti, non sono necessariamente limitate alla fase terminale, ma possono affiancarsi ai trattamenti attivi fin dalle fasi precoci delle patologie cronico-degenerative, con l'obiettivo di controllarne i sintomi, accompagnarne le diverse traiettorie e prevenire o attenuare il declino funzionale, migliorando la qualità di vita del paziente e dei caregiver. Le cure palliative in Italia rappresentano circa il 20% delle risorse dell'intero SSN (come afferma Gino Gobber, presidente della Società

italiana cure palliative (Sicp)) e sono organizzate secondo il modello della "Rete", intesa come sistema integrato di servizi, strutture e professionalità e come assetto organizzativo attraverso cui i principi sanciti a livello legislativo trovano concreta attuazione operativa. L'integrazione tra i diversi livelli di assistenza, la continuità dei percorsi di cura, la complessità organizzativa richiesta e la capillarità degli interventi, rendono la dimensione logistica un fattore strategico per il funzionamento della rete, incidendo in modo diretto sull'accessibilità ai servizi e sulla sostenibilità complessiva del sistema delle cure palliative [26] [27].

1.4.1 Inquadramento normativo

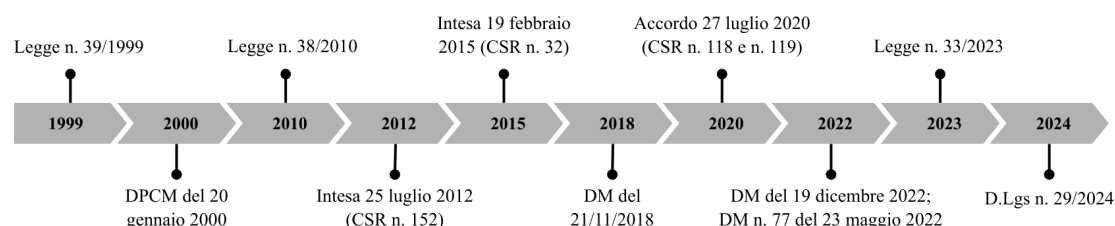


Figura 1.6: Excursus normativo delle Cure Palliative

Il sistema delle cure palliative in Italia si fonda su un articolato e progressivo impianto normativo che, a partire dalla fine degli anni Novanta, ha riconosciuto tali prestazioni come parte integrante dei Livelli Essenziali di Assistenza (LEA) e ha definito standard organizzativi, requisiti strutturali e modelli di governance delle Reti di Cure Palliative. In figura 1.6 sono riportati i principali interventi normativi. Il primo riferimento organico è rappresentato dalla Legge n. 39 del 26 febbraio 1999, che ha sancito il diritto di accesso alle cure palliative e alla terapia del dolore, ponendo le basi per un approccio assistenziale orientato alla qualità della vita del paziente e al controllo del dolore. Successivamente, il DPCM 20 gennaio 2000 ha introdotto i requisiti strutturali, tecnologici e organizzativi minimi per le strutture residenziali di cure palliative, avviando un percorso di regolazione nazionale volto a garantire standard omogenei sul territorio. Un passaggio centrale nell'evoluzione normativa è rappresentato dalla Legge n. 38 del 15 marzo 2010, che ha definitivamente riconosciuto le cure palliative come diritto fondamentale della persona, integrandole stabilmente nel SSN. Tale legge ha introdotto un modello di governance multilivello, attribuendo alle Regioni la responsabilità dell'organizzazione delle reti locali di cure palliative, nel rispetto di indirizzi e standard nazionali condivisi. In questo quadro si collocano gli accordi in Conferenza Stato-Regioni, in particolare l'Intesa del 25 luglio 2012 (CSR n. 152), che hanno definito i requisiti minimi e le modalità organizzative per l'accreditamento delle strutture di assistenza ai malati in fase terminale e delle unità di cure Palliative e terapia del dolore, ponendo le basi per una valutazione sistematica della qualità dei servizi erogati. Il processo di strutturazione delle reti è stato ulteriormente rafforzato dall'Intesa del 19 febbraio 2015 (CSR n. 32), che ha introdotto un cronoprogramma nazionale per la loro realizzazione, e dall'Accordo del 27 luglio 2020 (CSR nn. 118 e 119), che ha definito in modo puntuale i criteri di accreditamento delle stesse. Parallelamente,

il DM 21 novembre 2018 ha istituito i codici specifici per le prestazioni di cure palliative e terapia del dolore (codice 96), rafforzandone la tracciabilità nei flussi informativi sanitari e consentendo una più accurata programmazione delle risorse. Un ulteriore elemento di consolidamento del quadro normativo è rappresentato dal DM 19 dicembre 2022, che ha introdotto criteri di valutazione in termini di qualità, sicurezza e appropriatezza delle attività erogate ai fini dell'accreditamento e degli accordi contrattuali con le strutture sanitarie, rafforzando il legame tra requisiti organizzativi e qualità dell'assistenza. A ciò si affianca il DM n. 77 del 23 maggio 2022, che, nel contesto della riforma dell'assistenza territoriale, ha ridefinito il ruolo delle cure palliative all'interno delle reti di prossimità, promuovendo l'integrazione con l'assistenza domiciliare, le Centrali Operative Territoriali e le altre componenti della sanità territoriale. Il quadro normativo si completa con il Patto per la Salute 2019–2021 e con gli interventi più recenti di riforma, tra cui il D.Lgs. n. 29 del 2024, che ha rafforzato le politiche a favore delle persone anziane e fragili, e la Legge n. 33 del 2023, che ha previsto specifici strumenti di pianificazione regionale per il potenziamento. Complessivamente, questo corpus normativo configura le cure palliative come un sistema integrato, fondato su reti assistenziali multilivello, che vedono il livello nazionale impegnato nella definizione di indirizzi generali, standard minimi e criteri di accreditamento, mentre alle Regioni è affidata la responsabilità di programmazione, organizzazione e monitoraggio locali [27].

1.4.2 Rete delle Cure Palliative

La Rete delle Cure Palliative si basa su attività di coordinamento e integrazione tra i diversi livelli di assistenza, in collaborazione con la Centrale Operativa Territoriale, i Punti Unici di Accesso, l'Assistenza Domiciliare Integrata e l'Assistenza Primaria, al fine di garantire la continuità delle cure e la tempestività degli interventi. In questo contesto, la definizione di percorsi strutturati di presa in carico, l'adozione di sistemi di valutazione e miglioramento della qualità, la raccolta e trasmissione dei dati ai sistemi informativi, nonché la promozione di attività formative e di ricerca, rappresentano elementi essenziali per assicurare l'efficacia del modello assistenziale [26]. Il modello della rete si fonda su una governance multilivello, dove il livello nazionale si occupa degli indirizzi generali, mentre quello territoriale consiste in reti locali gestite dalle Regioni. L'accordo Stato-Regioni del 27 luglio 2020 ha definito gli elementi che devono caratterizzare le reti regionali e locali e ha avviato le procedure di accreditamento. Inoltre, il PNRR ha previsto una serie di interventi importanti sul territorio, in termini di strutture e di tecnologie, sollecitando le Regioni e le aziende sanitarie a lavorare su progetti riorganizzativi. Il Piano non cita esplicitamente le cure palliative, anche se queste, in un'ottica di valorizzazione di tutto ciò che si trova al di fuori dell'ospedale, andranno presumibilmente incluse nei cambiamenti da attuare. In questo quadro, le Aziende Sanitarie assumono un ruolo centrale nell'attuazione operativa dei servizi, capaci di rispondere ai bisogni specifici del territorio, pur nel rispetto di requisiti strutturali e organizzativi condivisi. Questa impostazione consente di coniugare l'esigenza di uniformità dei LEA con la flessibilità necessaria a rispondere alle diverse caratteristiche demografiche, epidemiologiche e territoriali. Sono tre le reti previste per la presa in carico: quella delle cure palliative per l'adulto (oncologico e non), quella della terapia del dolore e quella

delle cure palliative e terapia del dolore per la popolazione pediatrica. Dal punto di vista organizzativo, la Rete di Cure Palliative è articolata in una pluralità di nodi funzionalmente integrati. Essa comprende le Unità di Cure Palliative Domiciliari, che rappresentano il fulcro dell'assistenza territoriale e garantiscono la presa in carico del paziente al proprio domicilio; le strutture residenziali di cure palliative (hospice), destinate ai pazienti che non possono essere assistiti a casa o che necessitano di un livello assistenziale più intensivo; le attività di consulenza ospedaliera, che assicurano il supporto palliativo all'interno delle Unità Operative; e le attività ambulatoriali, rivolte alla valutazione, al follow-up e alla gestione dei sintomi. Ciascuno di questi nodi concorre, secondo modalità differenziate, alla realizzazione di un percorso assistenziale unitario e centrato sul paziente. Un elemento qualificante del modello di rete è rappresentato dall'integrazione multiprofessionale, che coinvolge medici, infermieri, operatori sociosanitari, psicologi, assistenti sociali e altre figure di supporto. Tale integrazione non si limita alla dimensione clinica, ma si estende agli aspetti organizzativi e gestionali, richiedendo un coordinamento efficace tra servizi sanitari e sociali, nonché tra strutture pubbliche e soggetti del Terzo Settore. In questo contesto, la rete non è concepita come una semplice sommatoria di servizi, ma come un sistema coordinato, in cui la qualità dell'assistenza dipende in larga misura dalla capacità di comunicazione, condivisione delle informazioni e continuità operativa. Il funzionamento delle reti è poi strettamente connesso alla disponibilità di strumenti di pianificazione, monitoraggio e valutazione, necessari per garantire appropriatezza, qualità e sostenibilità dei servizi. La raccolta sistematica dei dati, l'utilizzo di indicatori di esito e di processo e la trasmissione delle informazioni ai sistemi informativi regionali e nazionali costituiscono elementi essenziali per il governo della rete. In tale prospettiva, la standardizzazione dei percorsi assistenziali e l'adozione di criteri condivisi rappresentano leve fondamentali per ridurre le disomogeneità territoriali e migliorare l'equità di accesso alle cure. È realistico pensare che la diffusione di strumenti di identificazione del bisogno e di lettura della complessità genererà un aumento della domanda che andrà accompagnato con una maggiore flessibilità nei modelli di presa in carico. Nelle aree con una consolidata tradizione di sviluppo di reti integrate di cure palliative, l'aumento della domanda sta già superando la capacità di risposta dei soli servizi specialistici; di conseguenza, il divario tra fabbisogno assistenziale e risorse disponibili è destinato ad ampliarsi ulteriormente in futuro. Un ulteriore aspetto rilevante riguarda il dimensionamento delle reti, che, secondo gli indirizzi nazionali, prevede la presenza di almeno un'Unità di Cure Palliative Domiciliari ogni 100.000 abitanti e di strutture hospice con una dotazione indicativa di 8–10 posti letto per lo stesso bacino di popolazione. Tali parametri costituiscono riferimenti essenziali per la programmazione regionale e per la valutazione dell'adeguatezza dell'offerta, pur lasciando margini di adattamento alle specificità locali. Il rispetto di questi standard è funzionale non solo alla garanzia dei livelli assistenziali, ma anche alla sostenibilità complessiva del sistema. Nel loro insieme, le Reti di Cure Palliative si configurano quindi come sistemi complessi, caratterizzati da elevata interdipendenza tra nodi, flussi informativi articolati e una forte integrazione tra dimensione clinica, organizzativa e gestionale. Questa complessità rende evidente come l'efficacia delle cure palliative non dipenda esclusivamente dalla qualità delle prestazioni cliniche, ma anche dalla capacità del sistema di coordinare risorse, servizi e processi lungo l'intero percorso assistenziale. In tale quadro, la

dimensione logistica — intesa come organizzazione dei flussi di farmaci, materiali, informazioni e persone — assume un ruolo sempre più strategico, ponendosi come elemento abilitante per il funzionamento efficace e continuo delle reti [28] [29] [30].

1.4.3 Integrazione ospedale–territorio e centralità della domiciliarità

L'evoluzione delle cure palliative in Italia è strettamente connessa al progressivo superamento di un modello assistenziale ospedale-centrico a favore di un approccio integrato, orientato al territorio e alla domiciliarità. Come emerge chiaramente dal quadro normativo e programmatico nazionale, l'ospedale viene progressivamente ridefinito come luogo deputato alla gestione delle fasi acute, della complessità clinica e della diagnosi, mentre al territorio è affidato un ruolo sempre più centrale nella gestione della cronicità, della fragilità e dei bisogni assistenziali di lungo periodo. In tale contesto, le cure palliative rappresentano uno degli ambiti in cui questa trasformazione trova una delle sue applicazioni più avanzate e strutturate. L'integrazione ospedale–territorio costituisce infatti un principio cardine del modello organizzativo delle Reti di Cure Palliative, che si concretizza nella continuità dei percorsi assistenziali tra setting diversi, garantendo che il paziente possa transitare dall'ospedale al domicilio, o ad altre strutture della rete, senza interruzioni nella presa in carico e senza discontinuità terapeutiche. Le attività di consulenza palliativa ospedaliera svolgono in questo senso una funzione strategica, consentendo l'attivazione precoce del percorso di cura già durante il ricovero e favorendo una dimissione protetta e appropriata verso il territorio. Questo approccio anticipatorio consente di intercettare precocemente i bisogni palliativi, migliorare il controllo dei sintomi e ridurre il ricorso improprio a ricoveri ripetuti o prolungati. All'interno di questo modello integrato, la domiciliarità assume un ruolo prioritario. L'ADI si articola infatti in livelli progressivi di intensità assistenziale e include le cure palliative domiciliari, erogate da Unità di Cure Palliative dedicate secondo due livelli di intensità, di base e specialistico. Le cure domiciliari rappresentano la modalità assistenziale privilegiata, in quanto consentono al paziente di rimanere nel proprio ambiente di vita, mantenendo relazioni, abitudini e riferimenti affettivi, con benefici documentati in termini di qualità della vita e soddisfazione del paziente e della famiglia. L'intesa raggiunta tra Stato, Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano, il 25 luglio 2012, stabilisce che l'accesso alle Unità di Cure Palliative Domiciliari (UCP-Dom) debba essere garantito non solo ai malati terminali o ai malati oncologici, ma a tutte le persone affette da qualsiasi patologia inguaribile. La normativa nazionale e gli atti di programmazione riconoscono quindi esplicitamente la domiciliarità come elemento qualificante dell'assistenza palliativa, prevedendo standard di offerta e requisiti organizzativi specifici per le UCP-Dom, che garantiscono, in funzione della complessità dei bisogni e delle differenti intensità assistenziali, sia degli interventi di base coordinati dal Medico di Medicina Generale sia interventi di équipe specialistiche multidisciplinari. La gestione domiciliare richiede un'adeguata pianificazione e integrazione tra molteplici attori e servizi, definiti attraverso un "Piano Assistenziale integrato" (PAI). Tra le prestazioni erogate ci sono quelle mediche, infermieristiche, riabilitative, di supporto psicologico, gli accertamenti diagnostici, l'assistenza tutelare professionale e la fornitura di farmaci, dispositivi medici e preparati per nutrizione artificiale. Le UCP-Dom

sono composte da équipe multiprofessionali e multidisciplinari, che comprendono medico palliativista, infermiere, OSS, fisioterapista e psicologo. Importante è anche la figura del volontario, che collabora per le esigenze a carattere non sanitario: può garantire la sua presenza a domicilio, può consegnare farmaci e presidi sanitari, può accompagnare il paziente alle visite specialistiche e aiutare a gestire le pratiche burocratiche. Risultano poi fondamentali il coordinamento con la medicina generale, i servizi sociali, la Centrale Operativa Territoriale e, ove presenti, i Punti Unici di Accesso. Questo sistema di relazioni consente di garantire risposte tempestive ai bisogni clinici e assistenziali, di modulare l'intensità dell'intervento in funzione dell'evoluzione della malattia e di supportare adeguatamente il caregiver familiare. Un ulteriore elemento qualificante della domiciliarità è rappresentato dalla flessibilità organizzativa richiesta alle Reti di Cure Palliative. A differenza del setting ospedaliero, l'assistenza domiciliare si svolge in contesti eterogenei e non standardizzati, richiedendo capacità di adattamento, rapidità di intervento e continuità assistenziale anche in condizioni di urgenza. Ciò implica la necessità di modelli organizzativi capaci di garantire reperibilità, tempestività e coordinamento, nonché l'adozione di strumenti informativi condivisi per la gestione del percorso del paziente. In questo quadro, la domiciliarità non può essere interpretata esclusivamente come una diversa collocazione fisica dell'assistenza, ma come un cambio di paradigma che coinvolge l'intera organizzazione del sistema sanitario. Essa comporta una ridefinizione dei flussi informativi, delle responsabilità professionali e delle modalità di erogazione delle prestazioni, con un impatto diretto anche sulla gestione delle risorse materiali e farmacologiche che presuppone, pertanto, un'organizzazione efficiente dei processi di approvvigionamento, distribuzione e consegna dei farmaci e dei dispositivi necessari all'assistenza [31].

1.4.4 Disomogeneità territoriale

La Rete di cure palliative, sebbene presente in tutte le regioni, rivela profonde differenze in termini di risorse, strutture e personale qualificato: mentre alcune aree possono vantare reti ben strutturate ed efficienti, in altre l'accesso a queste cure essenziali resta limitato, con particolare criticità per i pazienti pediatrici. Tale variabilità rappresenta uno degli elementi strutturali più rilevanti del sistema e costituisce un fattore determinante nella configurazione dei modelli organizzativi e logistici a supporto dell'assistenza palliativa. L'analisi dello stato di attuazione delle Reti di Cure Palliative evidenzia come solo una parte delle Regioni abbia raggiunto livelli di piena operatività e conformità agli standard previsti dalla normativa più recente, in particolare dal DM 77/2022. In molte realtà territoriali persistono ritardi significativi nella realizzazione delle reti, nella copertura dei servizi domiciliari e residenziali e nell'integrazione funzionale tra ospedale, territorio e strutture dedicate. Tale situazione determina un'offerta assistenziale non uniforme, con differenze rilevanti sia in termini quantitativi (numero di servizi attivi, posti letto in hospice, équipe domiciliari operative) sia qualitativi (livello di integrazione, continuità assistenziale, capacità di presa in carico precoce). L'Agenzia Nazionale per i Servizi Sanitari Regionali (AGENAS) ha condotto, nel 2023, una stima del fabbisogno complessivo di cure palliative per regione/provincia autonoma, calcolato come l'1% della popolazione

totale, e del grado di soddisfacimento dello stesso da parte delle reti locali (tabella 1.2).

Regione / P.A.	Popolazione 2023	Fabbisogno CP (1%)	Pazienti assistiti CP	Copertura (%)
Abruzzo	1.275.950	12.760	1.562	34,68
Basilicata	541.168	5.412	1.663	87,07
Calabria	1.855.454	18.555	965	14,73
Campania	5.624.420	56.244	4.992	25,14
Emilia-Romagna	4.425.366	44.254	15.835	101,38
Friuli-Venezia Giulia	1.194.647	11.946	3.140	74,46
Lazio	5.714.882	57.149	7.501	37,18
Liguria	1.509.227	15.092	6.137	115,18
Lombardia	9.943.004	99.430	30.945	88,16
Marche	1.487.150	14.872	1.043	19,87
Molise	292.150	2.922	984	95,35
Piemonte	4.252.581	42.526	9.845	65,52
P.A. Bolzano	540.958	5.410	1.886	100,32
P.A. Trento	545.183	5.452	2.560	134,10
Puglia	3.922.941	39.229	10.030	72,43
Sardegna	1.587.413	15.874	555	9,90
Sicilia	4.833.329	48.333	8.642	50,65
Toscana	3.663.191	36.632	11.362	87,87
Umbria	858.812	8.588	2.661	87,76
Valle d'Aosta	123.360	1.234	272	62,53
Veneto	4.847.745	48.477	19.556	114,28
Italia	59.030.133	590.301	142.136	68,21

Tabella 1.2: Fabbisogno teorico di Cure Palliative e copertura della Rete per Regione (anno 2023)

Questa disomogeneità è riconducibile a una pluralità di fattori. In primo luogo, il decentramento delle competenze in ambito sanitario ha attribuito alle regioni un ampio margine di autonomia nella programmazione e nell'organizzazione dei servizi, determinando l'adozione di modelli differenti per la strutturazione delle Reti di Cure Palliative. A ciò si aggiungono differenze nei livelli di investimento, nella disponibilità di risorse professionali specializzate, nella densità abitativa e nelle caratteristiche geomorfologiche dei territori, che incidono direttamente sulla capacità di garantire un'assistenza capillare e continuativa. Dal punto di vista organizzativo, le reti presentano dunque gradi di maturità molto diversi: in alcune regioni si osservano reti consolidate, dotate di una governance chiara, di sistemi informativi integrati e di una buona capacità di coordinamento tra i diversi setting assistenziali; in altre, invece, il sistema risulta frammentato, con servizi che operano in modo disomogeneo, con scarsa integrazione tra ospedale e territorio e con difficoltà nel garantire standard omogenei di accesso e continuità delle cure. Questa variabilità si riflette direttamente sull'esperienza del paziente e della famiglia, che può trovarsi ad affrontare percorsi assistenziali profondamente diversi a seconda del contesto territoriale di riferimento. In tale scenario, la disomogeneità territoriale assume un ruolo centrale anche sotto il profilo logistico. La logistica nelle cure palliative non può infatti essere concepita come un sistema uniforme e standardizzato a livello nazionale, ma deve necessariamente adattarsi a contesti organizzativi e infrastrutturali differenti. Le modalità di approvvigionamento, stoccaggio, distribuzione e consegna di farmaci e dispositivi devono essere calibrate in funzione della struttura della rete locale, della distribuzione geografica dei pazienti, del grado di integrazione con i servizi territoriali e della disponibilità di nodi logistici intermedi. Nelle aree in cui la rete è

più frammentata o meno sviluppata, la logistica assume una funzione compensativa fondamentale, contribuendo a garantire continuità terapeutica anche in assenza di un'elevata prossimità fisica dei servizi. Al contrario, nei contesti in cui la rete è maggiormente strutturata e integrata, la logistica può essere orientata a una maggiore ottimizzazione dei flussi, alla riduzione delle ridondanze e al miglioramento dell'efficienza complessiva del sistema. In entrambi i casi, la variabilità territoriale impone soluzioni flessibili, capaci di rispondere a esigenze diverse in termini di tempi di consegna, frequenza degli interventi e coordinamento tra attori coinvolti. Un ulteriore elemento di disomogeneità riguarda la capacità delle regioni di implementare modelli organizzativi coerenti con i principi della domiciliarità e della presa in carico integrata, come evidenziato nella tabella 1.3.

Regione/P.A.	Copertura UCP-Dom	Punti di erogazione CP domiciliari pubbliche e private
Abruzzo	40%	9
Basilicata	100%	6
Calabria	36%	6
Campania	59%	44
Emilia-Romagna	100%	44
Friuli-Venezia Giulia	67%	13
Lazio	43%	102
Liguria	84%	22
Lombardia	98%	895
Marche	85%	15
Molise	33%	1
Piemonte	91%	32
P.A. di Bolzano	100%	8
P.A. di Trento	33%	1
Puglia	82%	101
Sardegna	54%	13
Sicilia	27%	35
Toscana	93%	26
Umbria	100%	12
Valle d'Aosta	100%	2
Veneto	100%	45
ITALIA		1432

Tabella 1.3: Rilevazione AGENAS sullo stato di attuazione del D.M. 77/2022 - Copertura servizio UCP-Dom: % di distretti con almeno un erogatore operativo, II semestre 2024.

In molte realtà, la difficoltà di raggiungere standard adeguati di assistenza domiciliare si traduce in un maggiore ricorso a soluzioni residenziali o ospedaliere, con conseguenze rilevanti anche sul piano logistico. La mancanza di una rete domiciliare capillare rende infatti più complessa la pianificazione delle attività di consegna e ritiro dei materiali necessari all'assistenza, aumentando il carico operativo e la variabilità dei flussi. La disomogeneità territoriale rappresenta quindi non solo una criticità del sistema, ma anche un potente driver per l'innovazione organizzativa e logistica. Essa rende evidente la necessità di modelli logistici adattivi, in grado di

operare efficacemente in contesti caratterizzati da livelli diversi di infrastrutturazione, integrazione e maturità organizzativa [28] [32] [27].

1.4.5 Ruolo del Terzo Settore

Nel contesto delle cure palliative, il coinvolgimento degli enti del Terzo Settore rappresenta un elemento strutturale e sempre più rilevante all'interno dei modelli organizzativi e assistenziali adottati. Il contributo del non profit come componente integrante delle Reti di Cure Palliative si rafforza con il crescere dell'importanza della dimensione territoriale, domiciliare e relazionale dell'assistenza. Emerge infatti una marcata specializzazione del Terzo Settore nell'erogazione di cure palliative domiciliari: molte organizzazioni svolgono la propria attività principale al domicilio del paziente, confermando la centralità di questo setting nel contributo non profit. Il ruolo del Terzo Settore, inoltre, si colloca in una prospettiva di integrazione socio-sanitaria, in cui la presa in carico del paziente e della famiglia non si limita alla dimensione clinica, ma include bisogni sociali, logistici e di supporto continuativo, collocati in un contesto di elevata complessità assistenziale e di forte bisogno di prossimità. L'obiettivo primario, quindi, non è esclusivamente la cura della patologia, ma il miglioramento della qualità di vita, la continuità dell'assistenza e il rispetto delle preferenze del paziente. In tale contesto, il Terzo Settore si configura come un attore capace di intercettare bisogni che spesso sfuggono ai modelli assistenziali tradizionali, caratterizzati da una maggiore rigidità organizzativa. A livello nazionale, il coinvolgimento degli enti non profit nelle cure palliative è frequentemente richiamato nei documenti di programmazione come leva per ampliare la capacità di risposta dei servizi, soprattutto nelle aree in cui la rete pubblica risulta meno strutturata o presenta criticità operative. Tuttavia, tale coinvolgimento non è sempre definito in modo uniforme né pienamente standardizzato. In molte regioni, la partecipazione del Terzo Settore è prevista in termini generali, come supporto alle attività assistenziali, di accompagnamento o di integrazione con i servizi sanitari, ma le modalità operative, i ruoli specifici e i meccanismi di coordinamento risultano spesso demandati a successive fasi di implementazione. Questa eterogeneità riflette, da un lato, la flessibilità intrinseca del Terzo Settore, capace di adattarsi a contesti territoriali diversi e a bisogni variabili; dall'altro, evidenzia una criticità strutturale legata all'assenza di modelli organizzativi pienamente codificati a livello nazionale. In particolare, la mancanza di una chiara definizione dei confini di responsabilità, dei flussi informativi e delle modalità di integrazione con i servizi sanitari pubblici può generare disallineamenti operativi e difficoltà di coordinamento all'interno delle Reti di Cure Palliative. Anche la distribuzione geografica delle organizzazioni del Terzo Settore risulta fortemente disomogenea: la maggior parte delle strutture non profit attive nelle cure palliative è localizzata nelle regioni del Nord Italia, mentre il Mezzogiorno presenta una presenza significativamente inferiore. Tale squilibrio territoriale riflette criticità strutturali già evidenziate a livello di rete pubblica. Dal punto di vista organizzativo, l'apporto del Terzo Settore è la compresenza di due dimensioni operative: da un lato l'erogazione di cure palliative vere e proprie, attraverso l'impiego di personale sanitario qualificato; dall'altro lo svolgimento di attività di supporto assistenziale e relazionale, molte delle quali affidate al volontariato. Nella maggior parte dei casi, il contributo del Terzo Settore si manifesta nelle attività a elevato contenuto relazionale e logistico,

quali il supporto domiciliare, il trasporto, la consegna di beni e materiali necessari all'assistenza e il sostegno alle famiglie. Queste attività, pur non rientrando sempre nella sfera clinica, risultano fondamentali per garantire continuità e appropriatezza delle cure, in particolare nei percorsi domiciliari. Un tratto distintivo degli enti non profit nelle Cure Palliative è rappresentato dall'impiego sistematico di volontari, che costituiscono una risorsa centrale nei modelli organizzativi adottati. Molte organizzazioni dichiarano infatti di avvalersi in modo strutturato del volontariato, il quale non si configura quindi come un elemento residuale, ma come una componente qualificante dell'assistenza palliativa, capace di rafforzare la dimensione umana e relazionale della cura e di garantire una continuità di presenza difficilmente replicabile attraverso risorse esclusivamente professionali. Emergono tuttavia alcune criticità rilevanti sotto il profilo organizzativo e istituzionale: una quota significativa degli enti segnala difficoltà nei rapporti con le Aziende Sanitarie Locali, riconducibili alla mancanza di protocolli uniformi di collaborazione, alla disomogeneità delle convenzioni e alla scarsa integrazione dei sistemi informativi. Queste problematiche rischiano di limitare l'efficacia complessiva dell'intervento del Terzo Settore e di ridurre le potenzialità di integrazione all'interno delle Reti Locali di Cure Palliative. Nel complesso, il non profit contribuisce a colmare spazi operativi che difficilmente possono essere coperti in modo efficiente esclusivamente dal sistema sanitario pubblico, soprattutto in un contesto di crescente domanda assistenziale. Gli enti del Terzo Settore si configurano quindi come partner essenziali per sostenere l'operatività delle reti, contribuendo non solo all'erogazione dei servizi, ma anche alla loro sostenibilità organizzativa e sociale [33].

Capitolo 2

Fondazione FARO ETS



Figura 2.1: Logo Fondazione FARO ETS

La Fondazione FARO ETS è un ente senza scopo di lucro che opera sul territorio torinese e assiste coloro che necessitano di cure palliative, affiancando e sostenendo anche le loro famiglie. La Fondazione è operativa dal 1983 ed eroga assistenza sanitaria specialistica e diverse tipologie di servizi a supporto dei pazienti durante le fasi avanzate di malattie gravi e inguaribili. Le cure palliative, riconosciute come un diritto del cittadino, richiedono un approccio integrato orientato a garantire al paziente la migliore qualità di vita possibile. Il benessere non si esaurisce nella dimensione clinica, ma si estende a quella psicologica, emotiva e relazionale. La mission della Fondazione è quella di prendersi cura delle persone: anche dove non si può guarire, si può curare. Attraverso programmi di early palliative care, simultaneous care e attività di ricerca e divulgazione, FARO offre servizi gratuiti e accessibili, volti a donare valore e dignità ad ogni fase della vita della persona. La Fondazione prende in carico il paziente e ne garantisce le cure direttamente al domicilio; in alternativa mette a disposizione i suoi tre hospice. Tali strutture dispongono complessivamente di 48 posti letto, a fronte di un totale di 258 posti disponibili negli hospice presenti sul territorio della Regione Piemonte. Il suo impegno è portato avanti da équipes di professionisti in diversi ambiti scientifici – medici, infermieri, psicologi, fisioterapisti,

assistenti sociosanitari e sociali –, è supportato dal lavoro di personale amministrativo e logistico e sostenuto da volontari, donazioni e convenzioni con le ASL del territorio. La Fondazione può annoverare il risparmio generato per il sistema sanitario nazionale di ammontare pari a 12 milioni e mezzo di euro, come evidenziato nel bilancio sociale del 2024. Con la sua attività ha favorito la liberazione, in media, del 68,3% dei posti letto nei reparti di medicina interna e oncologia della Regione, contribuendo alla riduzione delle liste d’attesa. Nello stesso anno, ha assistito 1.560 pazienti a domicilio e 685 persone in hospice, garantendo in totale 107.839 giornate di assistenza. Alla luce dei risultati conseguiti, la Fondazione FARO si configura come un attore di riferimento per il panorama delle reti locali di cure palliative, con un modello integrato di assistenza e un impatto misurabile sul sistema sanitario.

2.1 Servizi, strutture e stakeholder

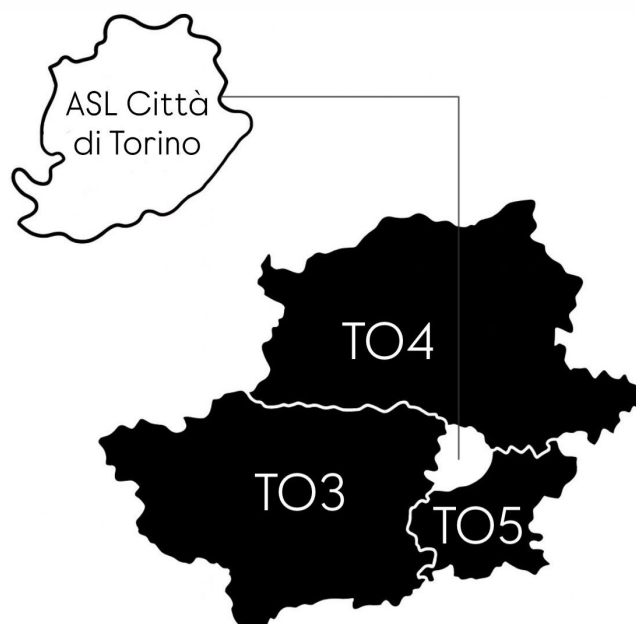


Figura 2.2: ASL in coprogettazione con FARO ETS

FARO opera nel rispetto del Codice del Terzo Settore (D.Lgs. 117/2017), principale riferimento normativo italiano per gli enti non profit che perseguono finalità civiche, solidaristiche e di utilità sociale. Tra gli ambiti disciplinati dal Codice rientrano anche le modalità di collaborazione con la Pubblica Amministrazione, grazie alle quali la Fondazione ha sviluppato un sistema di relazioni strutturate finalizzato all'erogazione di cure palliative in assistenza domiciliare e in hospice, alla fornitura di personale medico ad altre strutture sanitarie del territorio e alla consegna di farmaci e ausili. In regime di coprogettazione con il Servizio Sanitario Nazionale, FARO svolge la propria attività nei territori delle Aziende Sanitarie Locali *Città di Torino*, TO3, TO4 e TO5, la cui articolazione territoriale è illustrata in figura 2.2. Per quanto riguarda la coprogettazione con la ASL *Città di Torino*, FARO

offre servizi di assistenza integrata ai pazienti. Tra questi, rientra la consegna a domicilio di farmaci necessari all'erogazione domiciliare di cure palliative, servizio erogato con il supporto di volontari e in virtù di una convenzione operativa con la farmacia ospedaliera Amedeo di Savoia. Su Torino, l'assistenza medica e specialistica è erogata sia a domicilio, sia presso due hospice della Fondazione. Nel 2001, in virtù di un comodato d'uso con l'ospedale Molinette, viene inaugurato l'hospice "Sergio Sugliano", il primo della Fondazione, e nel 2021 l'hospice "Ida Bocca", entrambi in regime di struttura privata non accreditata, presso il presidio sanitario San Vito. Nel 2024 prende vita il progetto "Casa FARO", un luogo situato nel cuore di Torino, adibito al supporto delle famiglie per l'elaborazione del lutto e allo svolgimento delle attività del servizio "FARO Dopo", che prevedono lavoro psicologico individuale e di gruppo e lo sviluppo di reti di supporto e iniziative per contrastare solitudine e isolamento. L'ultimo hospice della Fondazione, "Alfredo Cornaglia", è stato inaugurato nel 2021 come struttura privata accreditata, situata presso l'Ospedale di Carignano. La struttura ricade nel territorio della ASL TO5, con la quale è attivo un protocollo di intesa volto a regolamentare la collaborazione e l'erogazione del servizio. I distretti di Chivasso e Settimo-San Mauro e i territori che vanno dalla cintura di Torino (Borgaro-Mappano-Caselle) fino ai comuni delle alti Valli di Lanzo fanno invece capo all'ASL TO4, con cui FARO ha realizzato una coprogettazione finalizzata alla fornitura di personale medico a beneficio dell'hospice del Comune di Lanzo e all'erogazione di cure palliative domiciliari. In quest'ultima area, la Fondazione si occupa anche di trasporto, consegna e ritiro di ausili sanitari, spesso voluminosi e destinati a pazienti residenti in territori geograficamente frammentati. Nel 2022, a seguito della costituzione di un'ATI con la Fondazione Luce per la Vita Onlus e la Cooperativa sociale P.G. Frassati, è stata avviata dall'ASL TO3 la procedura per l'attivazione di un partenariato con questi enti del Terzo Settore ai fini della coprogettazione di una rete di sostegno al fine vita e di interventi di cure palliative nei territori di sua pertinenza, comprendenti l'area metropolitana di Torino, le valli di Susa e Sangone e il distretto pinerolese. Accanto al sistema di relazioni con il SSN, Regione e ASL, si sviluppa quello riguardante i finanziatori e sostenitori privati, che integrano le risorse pubbliche e garantiscono continuità, sostenibilità e sviluppo della mission di FARO. Nel 2024 l'attività di fundraising, nella natura di donazioni, lasciti, 5x1000 ed eventi, ha generato 3.293.129 €. La base sociale comprende 3.548 sostenitori, 110 aziende e enti e 338 donatori. Il quadro complessivo di proventi e ricavi del 2024, di ammontare 11.656.440 €, può essere suddiviso in due sezioni principali: quasi la metà delle entrate di competenza derivano da prestazioni convenzionate con il sistema pubblico, mentre poco più della metà provengono da fonti private e fundraising, cui si aggiungono, a quelle già evidenziate, rendite da attività patrimoniali e finanziarie. L'ecosistema di FARO si configura come una rete articolata e interconnessa di stakeholder, che supera il perimetro dei soli committenti pubblici e degli attori direttamente coinvolti nell'erogazione del servizio. Oltre al personale organizzativo, ai finanziatori, agli assistiti e ai volontari, esso comprende la comunità locale, gli istituti di formazione e ricerca e i media. Tale rete contribuisce alla creazione di valore condiviso, rafforzando la legittimazione istituzionale della Fondazione, amplificando la voce di pazienti e professionisti e trasformando l'attenzione sociale in partecipazione e sostegno attivo.

2.2 Area di analisi

Tra le diverse attività portate avanti da FARO ETS sono state individuate quelle rientranti nel perimetro della logistica solidale, oggetto di studio del tirocinio curriculare presso la Fondazione. Il progetto formativo si concentra sull'organizzazione del trasporto di farmaci e ausili sanitari, gestito da équipe di volontari e operatori FARO in collaborazione con le ASL, e prevede l'analisi e l'ottimizzazione di questo servizio, strategico per il funzionamento dell'assistenza domiciliare. Principale oggetto di analisi è l'area operativa sulla Città di Torino, dove i volontari della Fondazione consegnano a domicilio farmaci e presidi ai pazienti seguiti in cure palliative. L'obiettivo del tirocinio è analizzare i flussi attuali della logistica solidale di FARO, valutarne le prestazioni, individuarne inefficienze e, infine, proporre soluzioni per migliorare l'efficienza, la sostenibilità e l'affidabilità del servizio. Di seguito si presenta una descrizione dell'organizzazione della sanità locale nell'ambito delle cure palliative, con particolare riferimento al perimetro operativo della Fondazione FARO ETS; successivamente, si propone un approfondimento sui servizi di *home delivery* farmaceutico presenti a Torino, nel cui contesto si inserisce il servizio oggetto di studio, che sarà analizzato nel dettaglio nel capitolo successivo.

2.2.1 Contesto operativo: ASL e Cure Palliative a Torino

L'Azienda Sanitaria locale *Città di Torino* è stata costituita il 1° gennaio 2017. I servizi sanitari rivolti ai residenti sono articolati in quattro presidi ospedalieri e quattro distretti territoriali, all'interno di un assetto organizzativo strutturato in dipartimenti e unità operative con differenti livelli di complessità e responsabilità. I presidi ospedalieri — San Giovanni Bosco (hub), Presidio Oftalmico e gli ospedali spoke Maria Vittoria–Amedeo di Savoia e Martini — operano in una logica di rete integrata con la Regione Piemonte e costituiscono le principali strutture produttive dell'Azienda. I distretti territoriali svolgono invece una funzione di coordinamento e integrazione tra le attività ospedaliere e i servizi erogati sul territorio, garantendo continuità assistenziale e raccordo organizzativo. Tra i servizi offerti con valenza sovraterritoriale è inclusa l'erogazione di cure palliative. La struttura complessa "*Cure Palliative*" dell'ASL *Città di Torino* è stata costituita a febbraio 2019, con l'obiettivo di riorganizzare e coordinare le attività dei vari nodi della rete locale, che in seguito agli accorpamenti delle Aziende Sanitarie avevano subito numerose modifiche. La Struttura, che afferisce alla Rete Oncologica Aziendale, gestisce diverse attività. Innanzitutto, centralizza e sviluppa tutte le segnalazioni in entrata, provenienti da una rete di professionisti del settore sanitario, tra cui medici di Medicina Generale, ospedali (sia aziendali che esterni), specialisti, strutture residenziali, come le RSA e le lunghe degenze, oppure anche direttamente dai cittadini. Una volta ricevuta la segnalazione, il personale della Centrale di Coordinamento della *S.C. Cure Palliative* prende contatti con i curanti, il medico di Medicina Generale, il paziente stesso o i suoi familiari, al fine di valutare la situazione e definire il percorso di assistenza più adeguato. Questo processo è gestito da un team composto da un medico e due infermieri, con l'obiettivo di rispondere in modo tempestivo ed efficace alle necessità del paziente. Il primo passo nell'attivazione del percorso è la valutazione dell'appropriatezza della segnalazione, per poi identificare i bisogni principali del

paziente e della sua famiglia e stabilirne l'urgenza. Dopo questa fase di valutazione, si pianifica l'intervento e si propone il percorso di assistenza. Il sistema si articola in diversi livelli di intensità di cura, in base alla complessità dei bisogni identificati. Si distinguono:

- *Cure Palliative di Base*: con una presa in carico condivisa di circa 500 pazienti all'anno, sono fornite dal Servizio di Cure Domiciliari, dal medico di Medicina Generale e dal personale della S.C. Cure Palliative;
- *Cure Palliative Specialistiche*: rivolte a circa 465 pazienti all'anno con bisogni clinici complessi, vengono erogate in collaborazione con il medico di Medicina Generale dal personale della Fondazione FARO;
- *Acute Palliative Care Team*: dedicato alla valutazione rapida e all'eventuale presa in carico di pazienti non già inseriti nella rete di cure palliative, ma con necessità urgenti;
- Cure palliative per pazienti non oncologici, con particolare attenzione alle situazioni di fragilità ambientale, familiare o sociale, e gestione clinico-assistenziale dei casi particolari.

La partecipazione della Fondazione FARO ETS nella gestione sanitaria dei pazienti in cure palliative è quindi riconosciuta e ufficializzata dall'ASL *Città di Torino*. Nel contesto italiano, il ruolo degli Enti del Terzo Settore (ETS) nei servizi sanitari territoriali è disciplinato da un quadro normativo che ne riconosce la funzione sociale, a partire dal D.Lgs. 502/1992 – fondamento strutturale del riordino del Sistema Sanitario Nazionale, che introduce riforme in tema di decentramento amministrativo, al fine di lasciare più autonomia alle regioni e di integrazione sociosanitaria, legittimando l'erogazione di prestazioni sanitarie fuori dall'ospedale e consentendo alle ASL di organizzare servizi anche tramite soggetti esterni – e dal Codice del Terzo Settore. Queste norme consentono alle aziende sanitarie di stipulare convenzioni con organizzazioni non profit per attività di interesse generale, tra cui il supporto ai pazienti fragili, purché tali attività siano svolte nel rispetto delle responsabilità cliniche del servizio sanitario. In Piemonte, la L.R. 7/2024 rafforza questo modello collaborativo, rappresentando il quadro normativo regionale che abilita e disciplina l'integrazione tra sistema sanitario e Terzo Settore nella presa in carico territoriale dei pazienti, definendo ruoli e responsabilità. Ai sensi di una convenzione stipulata nel 2023 con l'ASL *Città di Torino*, la Fondazione FARO, in collaborazione con la *S.C. Cure Palliative*, si impegna a garantire diverse attività integrate. Per quanto riguarda le *Cure Palliative di Base*, la Fondazione assegna un infermiere e, quando necessario, un OSS ai pazienti con bassa intensità clinica; tali pazienti continuano ad avere come medici di riferimento un medico di Medicina Generale e il medico palliativista della struttura aziendale. L'infermiere FARO effettua attività domiciliare con cadenza settimanale o quindicinale, potendo coinvolgere, in casi particolari, ulteriori figure professionali per assicurare un livello assistenziale adeguato. Eventuali aumenti del fabbisogno assistenziale determinano l'applicazione di correttivi specifici rispetto al numero complessivo di pazienti seguiti in questo ambito. Nelle *Cure Palliative Specialistiche*, la Fondazione FARO prende in carico i pazienti con bisogni clinici e

assistenziali più elevati. In questo caso, gioca un ruolo importante il suo servizio di assistenza domiciliare specialistico, che comprende:

- Visite regolari dell'équipe medico-infermieristica durante tutto il periodo di assistenza;
- Supporto, all'occorrenza, dello psicologo, del fisioterapista e dell'OSS;
- Consulenze specialistiche;
- Attivazione, in presenza di situazioni di particolari difficoltà, del *Progetto Protezione Famiglie Fragili* in collaborazione con la Rete Oncologica Piemonte e Valle d'Aosta;
- Distribuzione di farmaci e dispositivi (forniti dalla ASL secondo procedura dedicata) direttamente al domicilio dei pazienti (servizio oggetto di analisi);

Qualora le condizioni del paziente si stabilizzino e l'intensità assistenziale diminuisca, è previsto il passaggio al percorso delle *Cure Palliative di Base*, garantendo comunque continuità nella presa in carico. Per quanto riguarda l'*Acute Palliative Care Team*, la Fondazione si impegna a prendere in carico entro 24 ore i casi segnalati dalla *S.C. Cure Palliative* che presentano criteri di urgenza. Il numero di pazienti assistiti con questa modalità non deve superare le quattro unità settimanali e il servizio è attivo anche il sabato e nei giorni festivi. È inoltre previsto un progetto specifico di supporto ai nuclei familiari fragili, in particolare per i pazienti non oncologici e per situazioni che richiedono interventi mirati e personalizzati. Gli operatori di cure palliative possono intervenire nel domicilio del paziente e in strutture residenziali, come RSA e lunghe degenze, in accordo con la direzione della struttura e su richiesta del paziente, del medico curante o del medico di famiglia. Per i pazienti che non possono rientrare a casa, ma desiderano ricevere cure palliative, è possibile il ricovero in una struttura hospice. Gli hospice disponibili a Torino includono l'Hospice "Valletta" presso il Poliambulatorio di via Farinelli 25, e gli hospice della Fondazione FARO "Ida Bocca" e "Ida e Sergio Sugliano". Questo modello di cura integrata e territoriale assicura una risposta tempestiva e personalizzata per ogni paziente, promuovendo un approccio coordinato che coinvolge tutte le figure professionali pertinenti nella gestione delle cure palliative [34] [35] [36] [37] [38].

2.2.2 La logistica solidale di FARO ETS nel panorama dell'home delivery a Torino

Il servizio di *home delivery* ha conosciuto una significativa diffusione nel territorio torinese negli ultimi anni. Il panorama si caratterizza per la presenza di una pluralità di attori, con iniziative promosse a livello comunale e nuove startup orientate all'offerta di soluzioni innovative. Tali servizi non si rivolgono esclusivamente a persone malate e/o con difficoltà motorie, ma intercettano anche una domanda crescente da parte di utenti che, per esigenze lavorative o altri impegni, incontrano difficoltà nel recarsi personalmente presso le farmacie. Tra i servizi strutturati attivi sul territorio si colloca FarExpress, progetto realizzato in collaborazione con l'*Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti*, che offre un servizio completo di supporto al cittadino. Il modello

prevede non solo la consegna a domicilio dei farmaci prescritti e dei medicinali da banco, ma anche il ritiro dell'impegnativa dal medico di Medicina Generale. Un ruolo centrale è svolto anche dal servizio di consegna domiciliare promosso da Federfarma, attivo dal lunedì al venerdì con il patrocinio del Ministero della Salute. L'iniziativa è rivolta a persone con disabilità o affette da gravi patologie, che non possono recarsi autonomamente in farmacia e non dispongono di una rete familiare di supporto. In questo modello, la farmacia territoriale resta il nodo centrale del processo distributivo, concordando direttamente con l'utente le modalità di consegna a seguito di una richiesta telefonica tramite numero verde dedicato. Accanto a queste esperienze, il Comune di Torino ha patrocinato il progetto Telefarmaco, che si basa sull'impegno di volontari dell'associazione Auser. Il servizio consente la consegna gratuita a domicilio di farmaci prescritti, medicinali da banco e parafarmaci, fungendo da intermediario tra il paziente, il medico e le farmacie del territorio. Sempre in ambito comunale si colloca anche il ProntoFarmaco festivo, un servizio specificamente pensato per la popolazione over 65, che garantisce la consegna domiciliare dei farmaci soggetti a prescrizione medica nei fine settimana, rispondendo a un bisogno particolarmente critico nelle fasce temporali di ridotta accessibilità ai servizi sanitari. Parallelamente, negli ultimi anni si è assistito all'ingresso di startup specializzate nell'*home delivery* farmaceutico. Tra queste, Pharmercure, realtà piemontese già operativa in altre città della Regione, propone un servizio continuativo e orientato alla sostenibilità ambientale, facendo uso di mezzi ecologici per la consegna di farmaci e prodotti medicali. PharmaTruck si rivolge invece a un'utenza ampia che comprende anziani, persone con disabilità, neogenitori e lavoratori, offrendo la possibilità di ordinare farmaci tramite numero verde o attraverso gli e-commerce delle farmacie partner, con consegne rapide entro un'ora. Un modello analogo è proposto da Pharmap, la piattaforma digitale leader che consente la consegna di farmaci tramite app, sito web o telefono. Il corriere, o "pharmaper", viene incaricato di ritirare la prescrizione dal medico, acquistare i prodotti in farmacia e consegnarli al domicilio del paziente in tempi molto ridotti. Infine, si rileva come un numero crescente di farmacie comunali, farmacie private e parafarmacie torinesi abbia attivato autonomamente servizi di consegna a domicilio, generalmente gestiti tramite contatto telefonico diretto o mediante moduli online disponibili sui siti delle singole strutture. Tali iniziative, pur caratterizzate da un'elevata eterogeneità organizzativa e da modelli operativi non standardizzati, testimoniano una crescente attenzione del canale territoriale verso soluzioni orientate alla prossimità e alla semplificazione dell'accesso ai servizi farmaceutici [39]. L'*home delivery* è poi particolarmente valido, come già evidenziato, qualora preveda la consegna di medicinali per la continuità ospedale-territorio, tipicamente dispensati in distribuzione diretta, cioè direttamente da strutture sanitarie pubbliche, quali farmacie ospedaliere o presidi dedicati. In questo caso, i farmaci sono rivolti prevalentemente a pazienti complessi – affetti da patologie rare, oncologiche, infettive o neuromuscolari –, che necessitano di un piano terapeutico strutturato e di un costante follow-up clinico. Secondo tale impostazione, sono gli ospedali o le ASL a provvedere alla dispensazione del farmaco, erogandolo direttamente al paziente esterno. Nel territorio dell'ASL *Città di Torino*, la distribuzione diretta è gestita dalla struttura complessa "Farmacie Ospedaliere", al cui interno opera la struttura semplice dedicata alla distribuzione diretta dei farmaci. I pazienti possono rivolgersi a uno dei quattro presidi individuati dalla ASL;

tuttavia, l'elevato volume dei flussi gestiti rende evidente la necessità di soluzioni logistiche più accessibili ed efficienti. La distribuzione diretta sul territorio torinese coinvolge infatti circa 20.000 pazienti cronici, che effettuano mediamente 80.000 accessi annui ai presidi autorizzati per il ritiro delle terapie [40]. In questo quadro, la Fondazione FARO ETS si inserisce integrando il canale della distribuzione diretta con un servizio di consegna domiciliare dei farmaci in conto terzi, finalizzato a ridurre gli oneri di spostamento per i pazienti in cure palliative seguiti dalla Fondazione. Tale attività non configura un atto di dispensazione sanitaria, che rimane di esclusiva competenza della farmacia, ma rappresenta una fase logistica ed esecutiva successiva alla prescrizione e alla preparazione del medicinale. La distinzione tra dispensazione e consegna è ampiamente discussa nella letteratura giuridica di settore (art. 14, 15, 30 e 39 del Codice deontologico dei farmacisti [41]), che sottolinea come l'attività di recapito possa essere svolta da soggetti incaricati, purché non si sovrapponga all'atto professionale del farmacista e siano rispettate specifiche condizioni. Tra queste vengono sottolineate la libertà di scelta della farmacia da parte del paziente, la corretta gestione delle prescrizioni, la tutela della privacy e il mantenimento delle idonee condizioni di conservazione del farmaco durante il trasporto [42]. Il processo attualmente adottato da FARO ETS rappresenta inoltre l'evoluzione di un'iniziativa avviata durante il periodo di emergenza sanitaria da Covid-19, quando i presidi di distribuzione diretta hanno riorganizzato le modalità di erogazione del servizio al fine di evitare afflussi massivi presso le strutture ospedaliere, collaborando con associazioni di volontariato per garantire continuità assistenziale ai pazienti più fragili. Nel 2023, successivamente all'emergenza pandemica, l'ASL *Città di Torino* ha pubblicato un avviso esplorativo per la stipula di convenzioni, ai sensi dell'articolo 56 del D.Lgs 117/2017 ([43]), per il progetto di consegna domiciliare di farmaci a pazienti fragili. L'iniziativa si inseriva in un quadro più ampio di rafforzamento della continuità assistenziale, coerente con le linee progettuali sostenute dal PNRR e con quanto previsto dal D.M. 71/2022, che definisce l'assetto organizzativo delle reti territoriali di assistenza, nelle quali la logistica dei farmaci rappresenta una componente funzionale alla continuità delle cure domiciliari ([44]). L'adozione di questo modello organizzativo ha consentito di ridurre significativamente l'accesso quotidiano ai presidi sanitari — stimato mediamente in circa 200 pazienti al giorno —, garantendo al contempo la prosecuzione dei percorsi terapeutici in condizioni di maggiore sicurezza e appropriatezza. Le attività di trasporto e consegna per conto della Fondazione FARO ETS sono svolte da volontari trasportatori, incaricati del ritiro dei farmaci presso la farmacia ospedaliera Amedeo di Savoia e della successiva consegna al domicilio del paziente. Alla pianificazione e al coordinamento del processo logistico partecipano inoltre addetti interni all'organizzazione, con il compito di supportare e organizzare il servizio, assicurando tracciabilità, corrette modalità operative e integrazione con la rete territoriale. In tale prospettiva, la logistica solidale dei farmaci svolta dagli enti del Terzo Settore si configura come una componente essenziale dell'assistenza domiciliare palliativa, contribuendo in modo concreto alla sostenibilità del sistema sanitario territoriale e alla qualità della presa in carico del paziente.

Capitolo 3

Analisi dei processi AS IS

Allo scopo di valutare l'assetto del servizio, sia da un punto di vista della sua pianificazione sia da quello esecutivo, le performance attuali e le principali inefficienze, è stata condotta un'analisi della configurazione AS IS. Sono stati determinati i flussi informativi e fisici, le funzioni dell'organigramma coinvolte e le attività previste. Le informazioni inerenti al servizio sono state in parte raccolte sul campo e in parte prelevate da documenti aziendali, e i dati ottenuti sono stati organizzati al fine di costruire un modello dei costi da confrontare con i risultati emersi a seguito di un processo di miglioramento. Quest'ultimo è stato orientato alla risoluzione degli aspetti più critici del servizio, valutati in base all'incidenza sui tempi e costi, e al rispetto delle esigenze emerse e dei requisiti individuati.

3.1 Fonti e strumenti di analisi

L'analisi AS IS del processo logistico di consegna domiciliare di farmaci della Fondazione FARO si basa su un insieme eterogeneo di fonti, integrate tra loro per garantire una rappresentazione fedele e completa del funzionamento reale del servizio. Le principali fonti utilizzate sono:

- Dati operativi interni: informazioni anagrafiche dei pazienti, ricette mediche e piani terapeutici;
- Documentazione interna e procedure: fogli degli indirizzi, annotazioni dei volontari, fogli di marcia dei veicoli utilizzati per le consegne;
- Osservazione diretta sul campo e *shadowing*: rilevazioni effettuate seguendo i volontari nelle loro attività di pianificazione ed esecuzione delle consegne;
- Interviste informali: descrizione dei processi da parte della coordinatrice infermieristica dell'area domiciliare e della coordinatrice dei volontari trasportatori.

La raccolta dei dati è stata progettata tramite un approccio misto qualitativo – quantitativo, con l'obiettivo di garantire misurazioni oggettive e, allo stesso tempo, di comprendere a fondo il contesto operativo in cui il servizio si svolge. L'acquisizione diretta è stata effettuata su dieci giornate di consegna, distribuite tra novembre 2025 e gennaio 2026. Le attività di *shadowing*, sia in fase di pianificazione sia di esecuzione

operativa, sono state condotte al fine di osservare direttamente le modalità e i tempi di esecuzione delle procedure e tracciare e misurare gli spostamenti. Sono stati adottati strumenti di *time-tracking* manuale e rilevazione GPS, al fine di registrare le durate del ritiro dei colli e delle consegne al paziente e di misurare tempi e distanze tra una tappa e la successiva. I dati, raccolti in tempo reale, sono stati organizzati in fogli Excel al fine di consentire anche una cross-analisi tra le diverse rilevazioni giornaliere. Tutti i dati personali e sanitari sono stati trattati in forma anonimizzata e utilizzati esclusivamente per finalità di analisi dei processi logistici. I dati disponibili internamente alla Fondazione, come lo storico degli indirizzi di consegna dei pazienti e i fogli di marcia dei veicoli, sono stati organizzati e trattati utilizzando principalmente Microsoft Excel, impiegato per la strutturazione dei dataset e per l'elaborazione delle metriche operative. La rappresentazione sintetica dell'intero processo e delle attività che lo compongono è stata sviluppata mediante strumenti di modellazione grafica, in particolare diagrammi BPMN e schemi realizzati con Microsoft Visio. La componente geospaziale dell'analisi ha richiesto un trattamento preliminare degli indirizzi tramite script Python: il codice sviluppato è stato utilizzato per attribuire automaticamente informazioni geografiche agli indirizzi, convertendoli in coordinate georeferenziate uniformi. Le visualizzazioni territoriali sono state poi realizzate tramite heatmap ottenute mediante un ulteriore script Python, il quale, leggendo un file CSV contenente latitudine e longitudine degli indirizzi di consegna, genera una mappa di densità utilizzando la libreria Folium, con esportazione finale in formato HTML. Per quanto riguarda la determinazione e la valutazione delle criticità del servizio, sono stati utilizzati strumenti di individuazione e gestione dei rischi, tipici del *Project Management*. Infine, l'interpretazione dei risultati quantitativi è stata integrata con elementi qualitativi provenienti dall'osservazione diretta e dalle interviste informali, garantendo una lettura coerente del dato numerico con il contesto operativo reale.

3.2 Descrizione dei flussi fisici e informativi

Il processo abilitante la consegna domiciliare di farmaci per l'erogazione di cure palliative nel territorio della ASL *Città di Torino* da parte di FARO ETS viene avviato dalla coordinatrice infermieristica dell'area domiciliare, la quale è stata intervistata al fine di ricostruire l'assetto della fase iniziale e del flusso informativo che sostiene l'intero processo logistico. Gli infermieri di FARO registrano sul portale gestionale della ASL le richieste di farmaci per i pazienti, in coerenza con le prescrizioni mediche e con i piani terapeutici via via rilasciati. Le richieste sono prese in carico e gestite esternamente dalla farmacia ospedaliera Amedeo di Savoia, uno dei quattro presidi indicati dall'ASL *Città di Torino* come centro di distribuzione diretta di farmaci. La farmacia cura la disponibilità dei medicinali e il relativo *packaging*, comprendente la scelta del numero di colli in cui organizzare la merce destinata a ciascun paziente. Le attività interne a FARO riguardano invece l'estrazione e il consolidamento delle richieste, la riorganizzazione dell'anagrafica di consegna, degli indirizzi, dei dati di contatto e la preparazione dei documenti che andranno in input alle successive fasi del processo. Ad occuparsi di queste operazioni, eseguite due volte a settimana, il lunedì e mercoledì, è la coordinatrice infermieristica, che estrae dal portale tutte

le richieste pervenute fino al *cut-off*. Ogni richiesta contiene una sezione "Note", dove gli infermieri inseriscono manualmente nominativo, indirizzo indicato per la consegna a domicilio del farmaco e distretto ASL di appartenenza, più eventuali informazioni aggiuntive, come citofono o recapito telefonico del paziente e/o dei suoi familiari. Una volta selezionati e organizzati i dati necessari, la coordinatrice redige il foglio degli indirizzi, sul quale si basano le successive attività di dimensionamento delle risorse, suddivisione del carico di lavoro giornaliero e routing. La descrizione di dettaglio di queste procedure è stata inizialmente ricostruita mediante l'intervista indirizzata alla coordinatrice dei volontari trasportatori, e, successivamente, tramite la diretta osservazione e partecipazione alle attività. Il numero di volontari da coinvolgere – organizzati in due o tre squadre di due soci ciascuna – e il correlato numero di vetture da impiegare, è definito dalla coordinatrice il giorno precedente la consegna. La stessa si occupa anche di gestire il sistema di turnazione e di conferme delle disponibilità. Le attività operative vengono eseguite due volte a settimana, martedì e giovedì (giorni successivi alla redazione del foglio degli indirizzi e all'organizzazione delle squadre), e si articolano in due macro-fasi: briefing iniziale e consegna. Il briefing si svolge presso la sede legale della Fondazione e si compone di due operazioni consecutive. Dapprima, i volontari si accordano sulla suddivisione degli indirizzi, cercando di bilanciare il numero assegnato a ciascuna squadra. Ogni indirizzo del foglio è assegnato ad un distretto della città di Torino, ed è generalmente sulla base di questo che avviene la suddivisione dei punti di consegna tra le squadre operative. L'attività successiva è quella di pianificazione del routing. Si tratta di un'operazione poco standardizzata, condotta con metodi differenti a discrezione delle squadre: alcune si affidano all'esperienza e alla conoscenza della città, altre ad applicazioni gratuite per la programmazione dell'itinerario di viaggio. La consegna vera e propria, che può prevedere un massimo di tre auto aziendali –interamente dedicate al servizio–, ha come tappa iniziale obbligatoria la farmacia ospedaliera, dove vengono prelevati i colli, pronti per il ritiro. L'itinerario deve poi concludersi con il rientro presso la sede legale, per la riconsegna delle auto aziendali e il deposito della documentazione (foglio di marcia di ogni veicolo). Di seguito si dettagliano, in linguaggio BPMN – *Business Process Modeling and Notation*–, i flussi fisici e informativi che si verificano nell'ambito dei processi logistici finalizzati alla consegna domiciliare dei farmaci. Le attività interne alla *pool* "FARO ETS" sono quelle che avvengono sotto il diretto controllo del personale della Fondazione o dei volontari incaricati dalla stessa. Esternamente a questa *pool* si verificano i processi esterni, eseguiti dagli infermieri della ASL, dalla farmacia ospedaliera Amedeo di Savoia e dai volontari – quando non direttamente coinvolti nelle attività di volontariato –. La realizzazione di un diagramma BPMN, in fig. 3.1, è finalizzata a descrivere il flusso AS IS ed evidenziare la sequenza di esecuzione dei task e le interazioni intra e inter-pools.

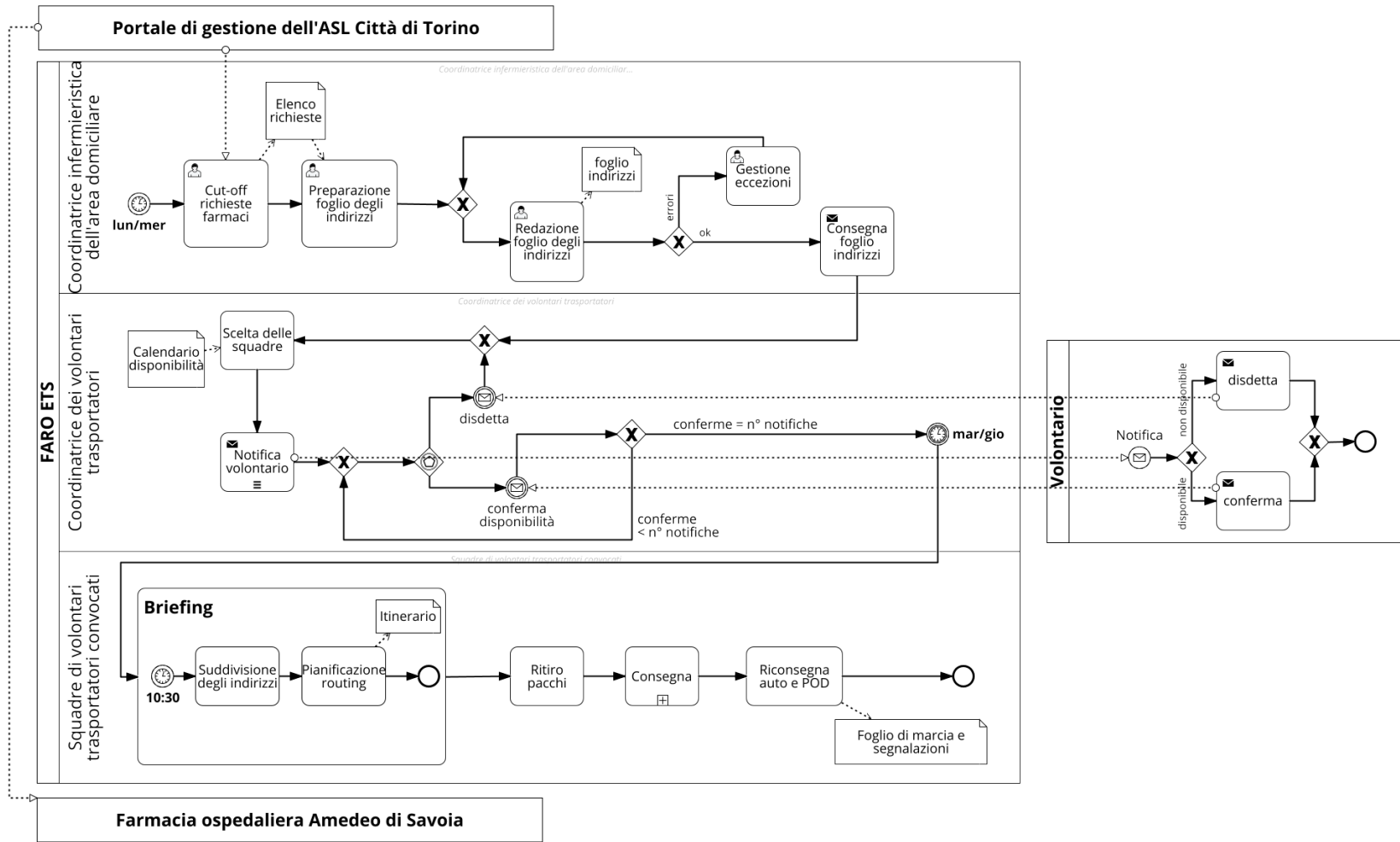


Figura 3.1: Flussi fisici e informativi del processo

3.3 Attività e performance

In questa sezione viene analizzato il funzionamento operativo dell'*home delivery* farmaceutico di FARO, a partire dalla scomposizione delle attività, con l'obiettivo di descrivere nel dettaglio i processi decisionali ed esecutivi che lo caratterizzano. Le attività svolte dalla Fondazione nell'ambito della logistica solidale sono state organizzate mediante una *Work Breakdown Structure* (WBS), ovvero una struttura analitica gerarchica finalizzata alla scomposizione sistematica del servizio. Nel caso specifico, la WBS è stata costruita seguendo una logica per processi di lavoro, con l'obiettivo di evidenziare in modo chiaro le diverse fasi decisionali e operative. La scelta di adottare una WBS *process-oriented*, è giustificata dal contesto del servizio, in cui il valore erogato non è rappresentato da un prodotto fisico ma dalla corretta esecuzione di una sequenza di attività interdipendenti. Come riportato in figura 3.2, il servizio è stato articolato in due macro-fasi principali, corrispondenti alla pianificazione e all'esecuzione. Nell'ambito di queste due fasi sono stati individuati complessivamente otto processi, costituenti il secondo e ultimo livello della WBS. Questi rappresentano i cosiddetti *work packages*, ovvero unità di lavoro sufficientemente definite e circoscritte da poter essere gestite, analizzate e controllate in modo autonomo. Questa scelta di livello consente di mantenere un buon equilibrio tra dettaglio analitico e leggibilità del modello, evitando una scomposizione eccessivamente fine che risulterebbe poco funzionale agli obiettivi dell'analisi. Mentre la WBS ha la funzione di descrivere che cosa deve essere fatto, la definizione degli esecutori del lavoro è demandata a un'ulteriore struttura gerarchica, l'*Organizational Breakdown Structure* (OBS). L'OBS individua le funzioni o i centri di responsabilità coinvolti nella realizzazione del servizio. Nel presente lavoro, l'OBS non è stata ricostruita nella sua interezza, ma sono state considerate le principali risorse e funzioni aziendali effettivamente coinvolte nell'esecuzione dei *work packages* individuati. L'incrocio tra l'ultimo livello della WBS e l'ultimo della OBS consente di costruire la *Responsibility Assignment Matrix* (RAM). Tale matrice permette di esplicitare in modo strutturato "chi fa cosa", associando a ciascuna attività le funzioni responsabili della sua realizzazione. Ogni intersezione individua un compito operativo, cioè il task che ciascuna funzione svolge per contribuire alla realizzazione di uno specifico *work package*. Nella figura 3.2 tali compiti sono rappresentati graficamente dai riquadri posti all'intersezione tra le attività della WBS e le funzioni della OBS, in modo da mettere in evidenza la distribuzione delle responsabilità e il coinvolgimento delle diverse funzioni nelle varie fasi del servizio. La RAM viene quindi utilizzata come strumento di inquadramento organizzativo e di supporto all'analisi dei processi. Nei paragrafi successivi vengono approfonditi i processi individuati nella WBS, descrivendone le logiche decisionali e le modalità esecutive. Tale analisi costituisce la base per la ricostruzione degli aspetti più rilevanti del servizio e per la valutazione delle performance attuali, nonché per l'individuazione delle principali criticità operative.

clearpage

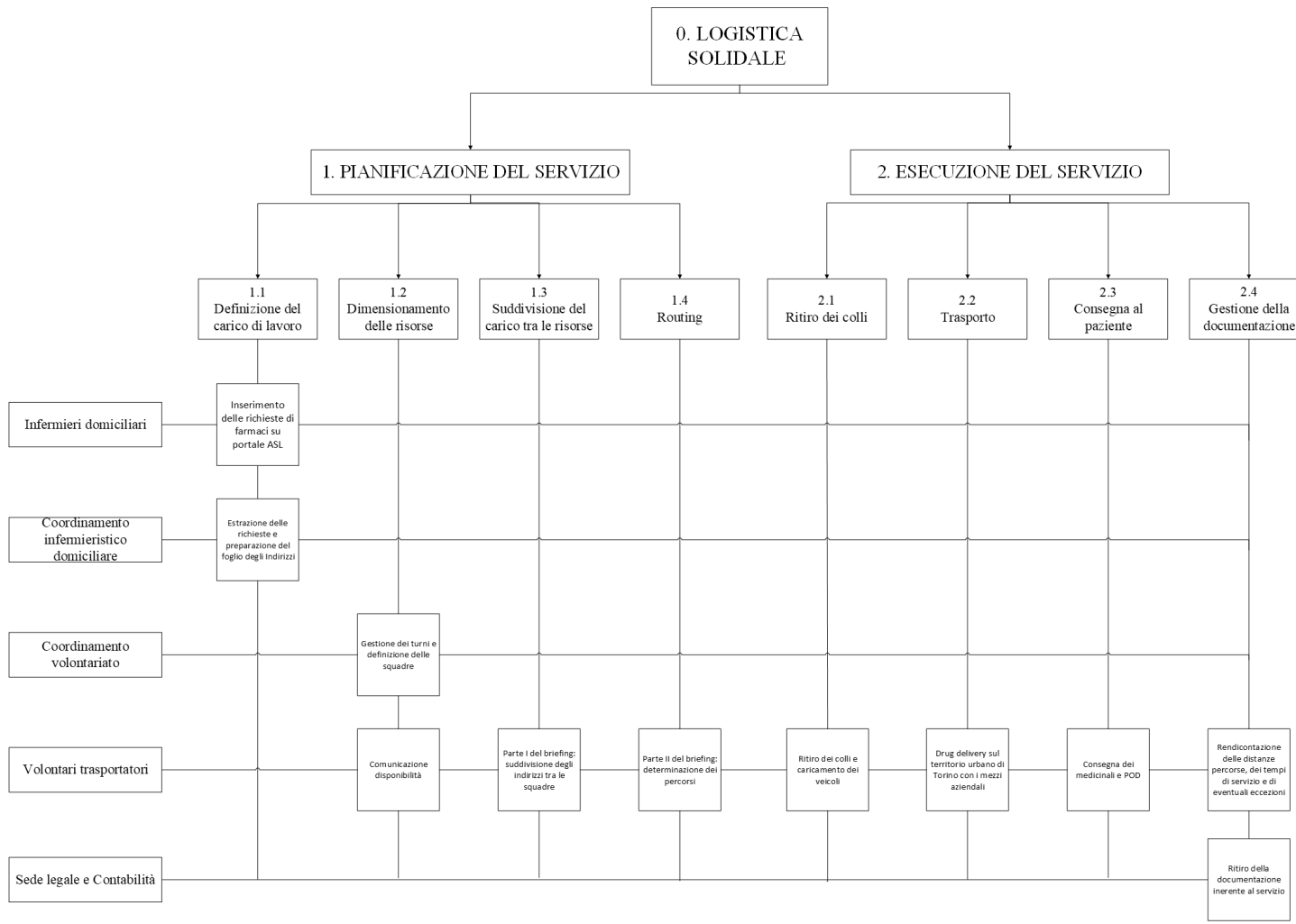


Figura 3.2: WBS del processo

3.3.1 Pianificazione operativa del servizio

La pianificazione dell'*home delivery* dei farmaci prevede la definizione del carico di lavoro giornaliero, delle risorse necessarie per raggiungere gli obiettivi operativi e la programmazione del servizio, attraverso l'allocazione del lavoro alle risorse e il routing. La prima fonte informativa prodotta in questa fase è rappresentata dal *foglio degli indirizzi*, ovvero un documento Excel che raccoglie l'elenco completo delle destinazioni da raggiungere in una data considerata. Questo foglio costituisce il punto di partenza per analizzare la domanda di consegna dei farmaci per l'erogazione di cure palliative a domicilio, comprenderne la consistenza e la distribuzione spaziale: è stato infatti possibile quantificare il numero di indirizzi serviti in ciascuna giornata (figura 3.3) e analizzare la concentrazione territoriale delle consegne (figura 3.4).

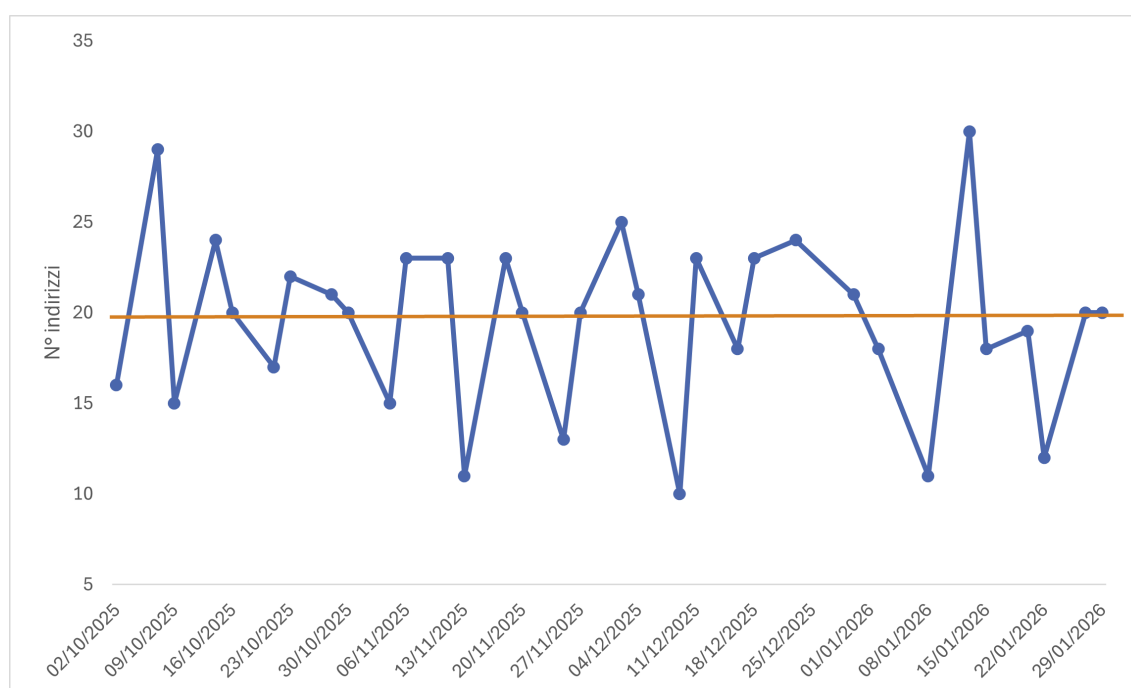


Figura 3.3: Andamento della domanda di FARO ETS per il servizio di home delivery di farmaci per l'erogazione domiciliare di cure palliative (Ottobre 2025 - Gennaio 2026)

Nel contesto delle cure palliative, la domanda di consegna dei farmaci è legata al bisogno sanitario dei pazienti affetti da patologie in fase avanzata. Tale bisogno presenta una componente strutturale, in quanto non dipende da dinamiche di consumo o da scelte discrezionali, ma da condizioni cliniche che richiedono un supporto terapeutico continuativo. L'andamento della domanda evidenzia una dinamica caratterizzata da una variabilità non trascurabile, ma al tempo stesso priva di discontinuità strutturali o trend marcati di crescita o decrescita nel periodo osservato.

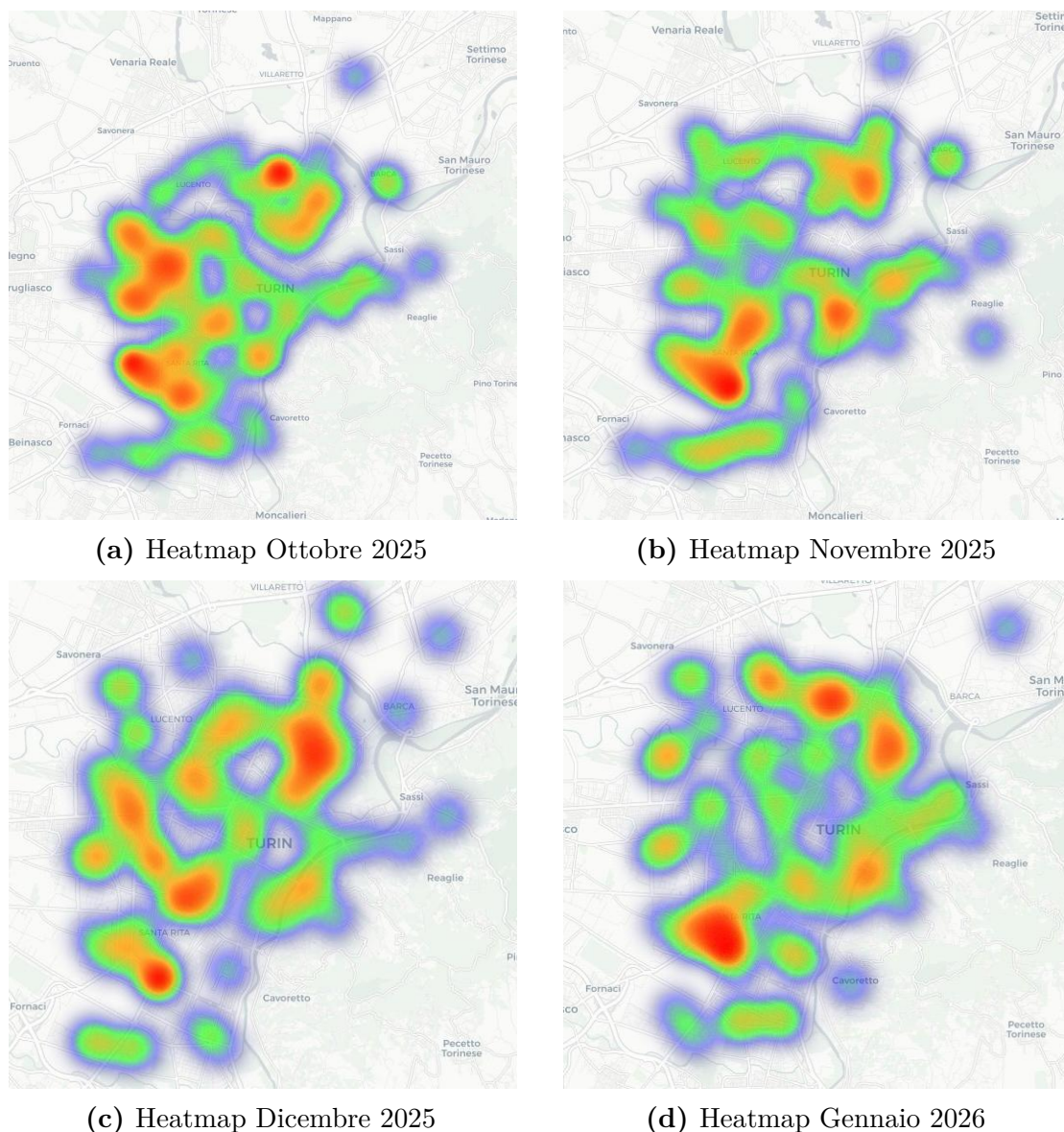


Figura 3.4: Heatmap mensili della distribuzione geografica della domanda (ottobre 2025 – gennaio 2026).

La media delle consegne giornaliere risulta pari a circa 20, mentre il coefficiente di variazione, pari a poco più del 25%, evidenzia una variabilità significativa, ma compatibile con un servizio di consegna operante su base urbana e soggetto a fluttuazioni giornaliere. In ottica di *demand planning*, tale valore si colloca in prossimità delle soglie comunemente utilizzate per distinguere serie a variabilità moderata da serie più instabili, suggerendo la necessità di approcci di pianificazione capaci di gestire le fluttuazioni. Il range, pari a 20 consegne, evidenzia come, nel periodo analizzato, si siano verificati sia giorni con domanda sensibilmente inferiore alla media sia giornate caratterizzate da picchi rilevanti. Tali estremi, tuttavia, non appaiono isolati o anomali, bensì si inseriscono in un andamento complessivo irregolare ma privo di pattern ciclici evidenti o stagionalità nette su scala settimanale. Le heatmap consentono di individuare visivamente le aree caratterizzate da una

maggior concentrazione di richieste. È opportuno precisare che rappresentano una misura di densità normalizzata su base mensile, pertanto la scala cromatica evidenzia le aree di maggior concentrazione relativa alla domanda di ciascun mese e non consente un confronto diretto in termini assoluti tra mesi differenti. La lettura delle heatmap mensili non è quindi finalizzata al confronto dei volumi mensili della domanda, ma della sua struttura spaziale (hotspot, diffusione e concentrazione delle richieste). Ad ottobre la domanda risulta più concentrata in alcuni cluster centrali, mentre nei mesi successivi si osserva una progressiva dispersione spaziale, con un aumento dei punti periferici. Durante il mese di novembre si osserva una parziale redistribuzione, con il mantenimento dei principali cluster centrali ma una maggior diffusione della domanda. A dicembre si intensificano alcuni hotspot locali, mentre a gennaio la domanda appare maggiormente frammentata, con cluster meno estesi. La presenza dei punti di consegna in aree periferiche del territorio suggerisce che un criterio di assegnazione del carico alle varie squadre basato esclusivamente sul numero di indirizzi, come quello attuale, non possa risultare pienamente efficiente, in quanto non considera la dispersione spaziale delle consegne e il conseguente impatto su distanze e tempi di percorrenza. All'interno della componente strutturale del bisogno sanitario, un ruolo centrale è svolto dal ricambio fisiologico dei pazienti, determinato dall'evoluzione clinica e dalla mortalità, elementi inevitabilmente associati alle Cure Palliative. Questo ricambio costituisce un fattore strutturale dinamico del sistema: se da un lato il numero complessivo di pazienti presi in carico tende a mantenersi entro un intervallo relativamente stabile nel medio periodo, dall'altro la composizione del bacino di utenza varia nel tempo, determinando una modifica delle localizzazioni geografiche della domanda. Tale meccanismo spiega la presenza di variazioni spaziali osservabili nelle heatmap mensili, pur in assenza di cambiamenti significativi nel livello medio complessivo della domanda. Accanto a questa componente strutturale, la domanda giornaliera osservata risulta influenzata anche da fattori contingenti, intesi come elementi temporanei e non sistematici che incidono sulla manifestazione operativa del bisogno. Tra questi rientrano, ad esempio, le tempistiche di prescrizione e somministrazione dei farmaci e l'insorgenza di situazioni cliniche improvvise che richiedono consegne urgenti o anticipate. Tali fattori non alterano il fabbisogno complessivo di cura, ma ne modificano la distribuzione temporale su base giornaliera che, come indicato dal range, presenta differenze rilevanti, non attribuibili esclusivamente al ricambio dei pazienti (che agisce su orizzonti temporali più lunghi). Nel complesso, la domanda può essere descritta come strutturalmente stabile ma operativamente variabile: la presenza di una media ben definita indica un carico di lavoro prevedibile nel lungo periodo, mentre la dispersione osservata implica la necessità di soluzioni di pianificazione flessibili, capaci di adattarsi a giornate con carichi diversi. Dopo l'emissione del foglio degli indirizzi, vengono definite le risorse in termini di volontari, due per squadra, e auto aziendali. Ad occuparsi di questo aspetto è la coordinatrice dei volontari trasportatori, che pianifica il numero di squadre da coinvolgere nel servizio, basandosi essenzialmente sulla disponibilità dei volontari e sul numero di consegne programmate.

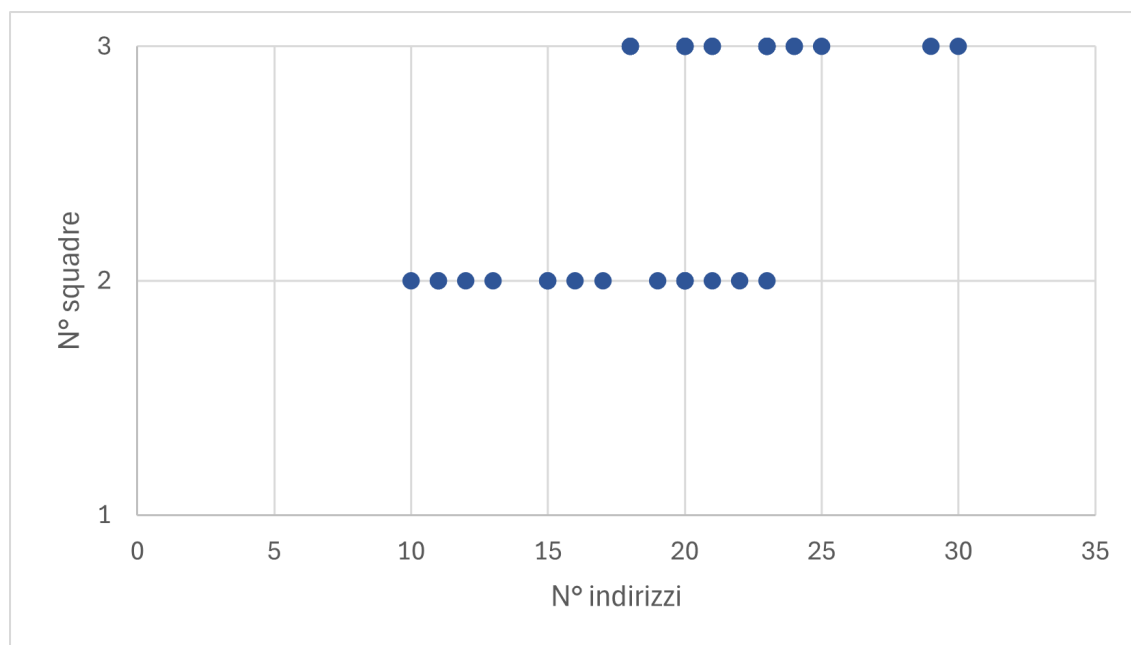


Figura 3.5: Relazione tra numero di indirizzi e numero di squadre scelte

La figura 3.5 rappresenta la relazione tra il numero di indirizzi da servire in una giornata e il numero di squadre impiegate. Tale relazione non va interpretata come una correlazione statistica, bensì come una evidenza empirica del meccanismo di dimensionamento delle risorse adottato. Dall'osservazione del grafico emerge come, per valori del numero di indirizzi compresi indicativamente tra 10 e 17, la pianificazione venga effettuata prevalentemente con due squadre. Al crescere del numero di indirizzi, in particolare oltre una soglia compresa tra 18 e 22, c'è invece una zona di sovrapposizione, in cui la scelta del numero di squadre non dipende esclusivamente dal numero di indirizzi, ma anche dalla disponibilità dei volontari. Per valori più elevati del carico, superiori a circa 22–23 indirizzi, la selezione di tre squadre diventa sistematica. Questo comportamento evidenzia l'esistenza di una logica a soglia nel dimensionamento del servizio, basata su un criterio operativo volto a limitare il numero di indirizzi assegnati a ciascuna squadra, mantenuto indicativamente al di sotto di una decina di consegne, al fine di garantire la sostenibilità dei tempi di percorrenza e di consegna. Il foglio degli indirizzi contiene, come anticipato, anche attributi di localizzazione territoriale associati a ciascun punto di consegna, che consistono in etichette per designare i diversi distretti di Torino. Questa suddivisione distrettuale (figura 3.6) si riferisce all'appartenenza di ogni punto di consegna ad una delle due ex ASL a cui faceva precedentemente capo la città di Torino. Alla ASL *TO1* appartengono le circoscrizioni comunali 1 e 8, che rappresentano il distretto sud-est (Centro Crocetta, San Secondo, San Salvario, Cavoretto, Borgo Po, Nizza Millefonti, Lingotto, Filadelfia), e 2 e 3, distretto sud-ovest (Santa Rita, Mirafiori Nord, San Paolo, Cenisia, Pozzo Strada, Cit Turin, Borgata Lesna, Mirafiori Sud). Sono invece di pertinenza della ex ASL *TO2* i distretti nord della città di Torino: a nord-est si collocano le circoscrizioni comunali 6 e 7 (Barriera di Milano, Falchera, Villaretto, Rebaudengo, Regio Parco, Barca, Bertolla, Aurora, Vanchiglia, Madonna del Pilone, Sassi), mentre a nord-ovest 4 e 5 (Campidoglio, Parella, San Donato,

Borgo Vittoria, Lucento, Madonna di Campagna, Vallette, Ceronda, Nuova Borgata Lanzo).

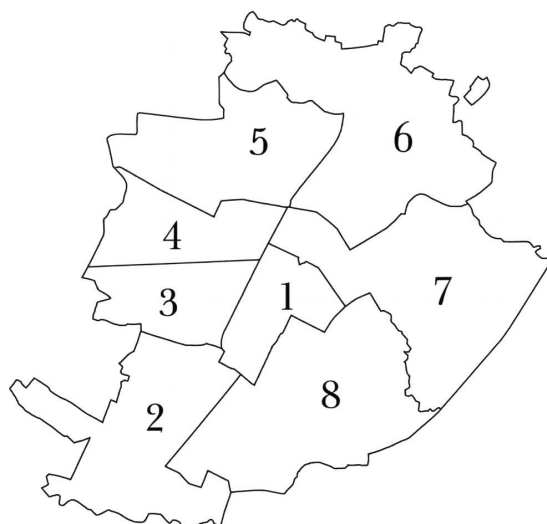


Figura 3.6: Circoscrizioni di Torino - Distretto Nord Est (6, 7), Distretto Nord Ovest (4, 5), Distretto Sud Est (1,8), Distretto Sud Ovest (2,3)

Questa suddivisione, spesso ulteriormente semplificata dalla sola distinzione tra "nord" e "sud", è anche utilizzata dai volontari trasportatori come base di partenza per programmare il trasporto. Le attività di programmazione della consegna, cruciali sia dal punto di vista delle tempistiche, sia da quello dei costi, sono quindi eseguite dai volontari, in piena autonomia. Un primo momento prevede la revisione e modifica dei cluster geospaziali degli indirizzi a cui consegnare i farmaci, in modo da assegnare carichi di lavoro il più possibile omogenei alle squadre. Tuttavia, la distinzione nei due cluster nord/sud non risulta ottimale per l'organizzazione del routing, poiché ogni squadra dovrà comunque seguire un itinerario circolare e fare ritorno al punto di partenza, nella sede legale della Fondazione – Via Oddino Morgari 12 –, situata nel distretto sud-est della città. Al routing si aggiunge una prima tappa obbligatoria a nord-ovest, ovvero la farmacia ospedaliera, dove le squadre volontarie ritirano i colli da consegnare ai pazienti FARO. Inoltre, i due cluster in cui il foglio degli indirizzi suddivide le consegne sono insufficienti qualora siano previste tre squadre. In questi casi, i volontari si occupano non solo di riorganizzare i due cluster esistenti, ma anche di crearne un terzo.

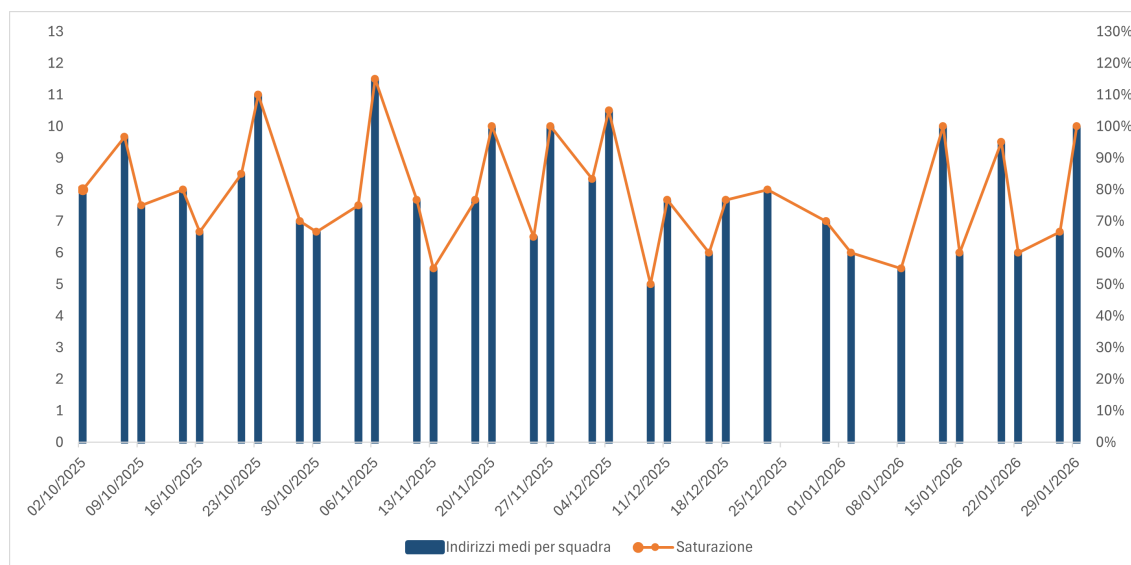


Figura 3.7: Carico di lavoro medio e indice di saturazione (10 indirizzi = 100%) per squadra

La figura 3.7 analizza la ripartizione del carico giornaliero di consegne tra le squadre operative, mettendo in relazione il numero medio di indirizzi assegnati e il corrispondente livello di saturazione che, come anticipato, si raggiunge con le dieci consegne per squadra. Questo limite non rappresenta un vincolo mandatorio, ma è assunto come riferimento operativo indicativo per garantire la sostenibilità delle attività di consegna. Dall'osservazione del grafico emerge che il numero medio di indirizzi per squadra si colloca, nella maggior parte delle giornate analizzate, in un intervallo compreso tra 6 e 9 indirizzi, con alcune giornate caratterizzate da valori prossimi alla soglia di riferimento. La saturazione raramente supera il 100%, suggerendo che l'assegnazione del carico avviene secondo un criterio prudente, volto a evitare situazioni di sovraccarico delle squadre. Nel complesso, il grafico evidenzia come la gestione del servizio tenda a mantenere il carico medio per squadra entro limiti considerati sostenibili, non solo in ottica di trasporto vero e proprio, ma anche di pianificazione delle rotte. Il routing rappresenta la seconda fase di programmazione del trasporto e consiste nella selezione del percorso migliore attraverso la schedulazione delle consegne. La soglia indicativa di dieci consegne per squadra risponde quindi anche all'esigenza di contenere la complessità del routing, eseguito dai volontari. Limitare il numero di indirizzi per giro consente infatti di mantenere i percorsi facilmente comprensibili, verificabili e gestibili. Alla situazione attuale, il routing non costituisce un vero e proprio processo: oltre a una standardizzazione pressochè assente, i volontari non tengono traccia degli itinerari seguiti, per cui l'analisi di questa attività risulta infattibile (se non in maniera limitata, grazie all'affiancamento dei volontari durante le attività). Lo sviluppo di una soluzione di miglioramento del servizio, trattato nel capitolo 4, si focalizzerà in particolare sull'efficientamento di questa attività, decisiva nel determinare le distanze percorse, le durate e, di conseguenza, i costi.

3.3.2 Esecuzione del servizio

L'esecuzione del servizio prevede il ritiro dei colli presso il magazzino della farmacia ospedaliera, il trasporto vero e proprio, la consegna dei medicinali ai pazienti e la gestione della documentazione inerente. Le sole informazioni relative a questa fase sono quelle recuperabili dal *foglio di marcia* di ogni veicolo operativo. Il foglio di marcia è il documento in cui si registrano le date di utilizzo dei mezzi aziendali, gli orari di inizio e fine del giro di consegna, i chilometri percorsi ed eventuali eccezioni/segnalazioni. Queste informazioni consentono un'analisi orientata a misurare i principali indicatori di prestazione in termini di tempi e distanze percorse nelle giornate di consegna. Poiché, nello scenario ottimizzato, il numero di squadre rimane invariato, su esplicita richiesta della Fondazione, rispetto allo scenario AS IS, il confronto è focalizzato esclusivamente sulle metriche di efficienza del routing, quali chilometri percorsi e tempi, al fine di valutare il miglioramento ottenuto a parità di risorse operative. Il cambiamento osservato è quindi attribuibile unicamente a una più efficiente organizzazione dei percorsi. A questo proposito, oltre ai chilometri e ai tempi complessivi che misurano l'efficienza globale, le metriche prestazionali giornaliere scelte sono state il *makespan* e il *range*. Il *makespan* consente di valutare l'impatto dell'ottimizzazione sul caso operativo più gravoso, mentre il *range* fornisce un'indicazione del grado di equilibrio tra i giri assegnati. Si sottolinea anche che l'analisi sul servizio effettivo si riferisce specificatamente alle performance associate ai veicoli aziendali dedicati al servizio (Fiat Panda, Lancia Ypsilon, Fiat Qubo), mentre nel TO BE si farà riferimento in modo generico alle diverse rotte individuate.

Distanze

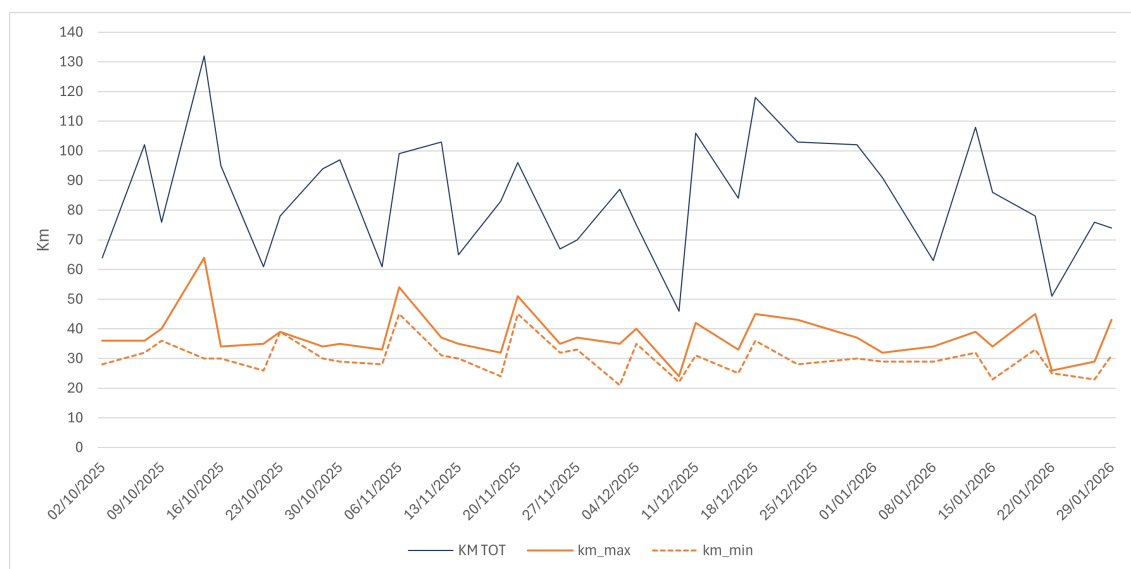


Figura 3.8: Km percorsi sul periodo analizzato: km totali/giorno, km della tratta più lunga, km della tratta più corta

La figura 3.8 rappresenta l'andamento temporale dei chilometri percorsi nel periodo di osservazione, distinguendo tra il totale giornaliero, il valore massimo (*makespan*)

e il valore minimo tra le rotte assegnate alle squadre operative. Il chilometraggio totale evidenzia una significativa variabilità giorno per giorno, con oscillazioni che riflettono sia volume e distribuzione geografica della domanda, sia numero di squadre giornalmente attive, suddivisione del carico e routing. L'analisi del *makespan* mette in evidenza come, in diverse giornate, il carico massimo assegnato a una singola squadra rappresenti una quota rilevante del totale giornaliero, suggerendo una distribuzione del lavoro non efficientemente bilanciata. In alcuni casi, infatti, il valore massimo risulta sensibilmente distante dal valore minimo, indicando la presenza di rotte particolarmente onerose accanto ad altre significativamente più leggere. La curva del valore minimo consente di valutare il *range*, che in media si aggira intorno ai 7 km, ma si colloca, nel caso peggiore, sui 34 km. La variabilità delle distanze percorse dalle auto aziendali non può essere ricondotta esclusivamente al volume complessivo della domanda e alla sua configurazione spaziale, ma anche all'efficienza operativa di pianificazione del servizio.

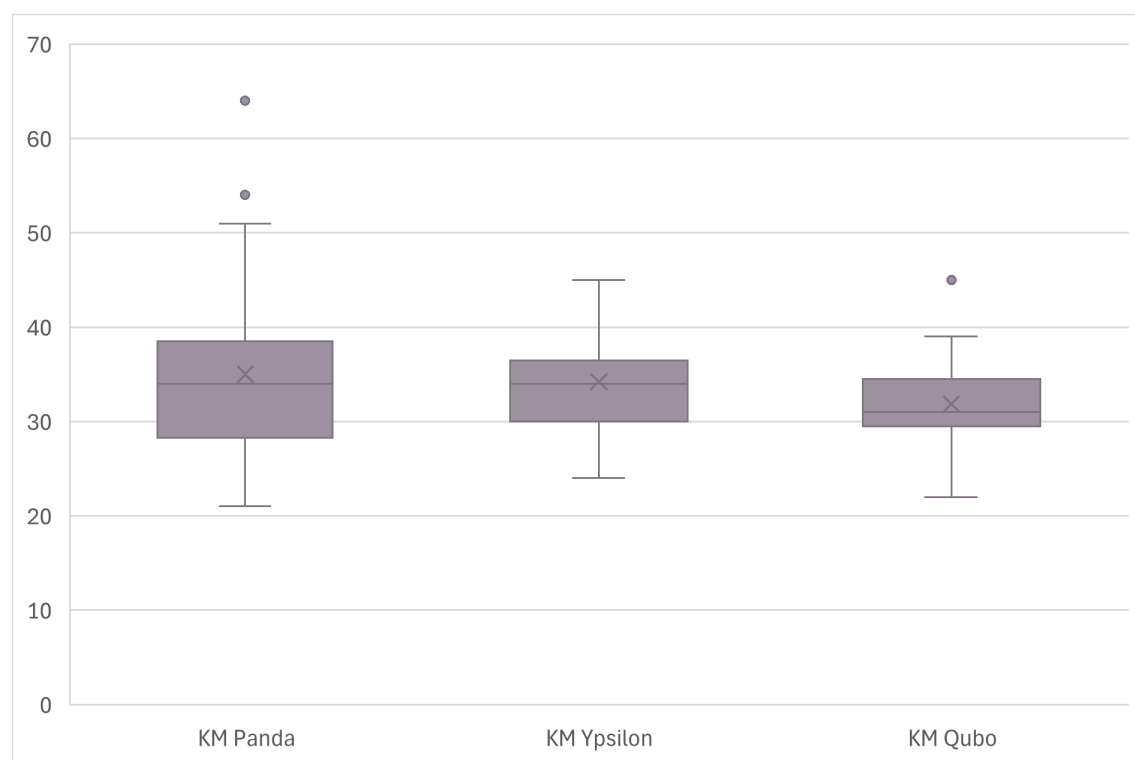


Figura 3.9: Boxplot dei chilometri percorsi da ogni auto aziendale

La figura 3.9 mostra la distribuzione dei chilometri percorsi per ciascun veicolo, consentendo un'analisi sintetica della variabilità del carico durante l'intero periodo considerato. Il boxplot non confronta le rotte di uno stesso giorno, ma la distribuzione del lavoro assegnato a ciascun mezzo nei quattro mesi analizzati. Per ciascuna rotta sono rappresentati la mediana, l'intervallo interquartile e gli eventuali valori anomali, offrendo una visione complessiva della dispersione dei chilometri percorsi. Dall'analisi emerge che le rotte assegnate alla *Fiat Panda* mostrano un intervallo interquartile più ampio e la presenza di valori anomali, segnalando una forte oscillazione del carico giornaliero e la presenza di giornate eccezionalmente gravose. Le rotte assegnate agli

altri due veicoli aziendali risultano invece caratterizzate da una distribuzione più compatta, indicativa di un carico più stabile nel tempo. La similarità delle mediane precisa che il carico medio assegnato alle diverse squadre risulta comparabile: la suddivisione del lavoro non è sbilanciata in media e non c'è, quindi, una differenza strutturale. Tuttavia, se il carico medio è equamente distribuito, la sua variabilità non lo è: le differenze nell'ampiezza dell'intervallo interquartile e la presenza di valori anomali evidenziano una variabilità del carico non uniforme, con alcune squadre maggiormente esposte a giornate particolarmente gravose. Il boxplot conferma quindi quanto osservato nell'analisi temporale, fornendo una lettura complementare e aggregata della stessa criticità: nello scenario AS IS, l'assegnazione giornaliera delle rotte non garantisce una distribuzione omogenea, tra le squadre, delle distanze percorse.

Tempi

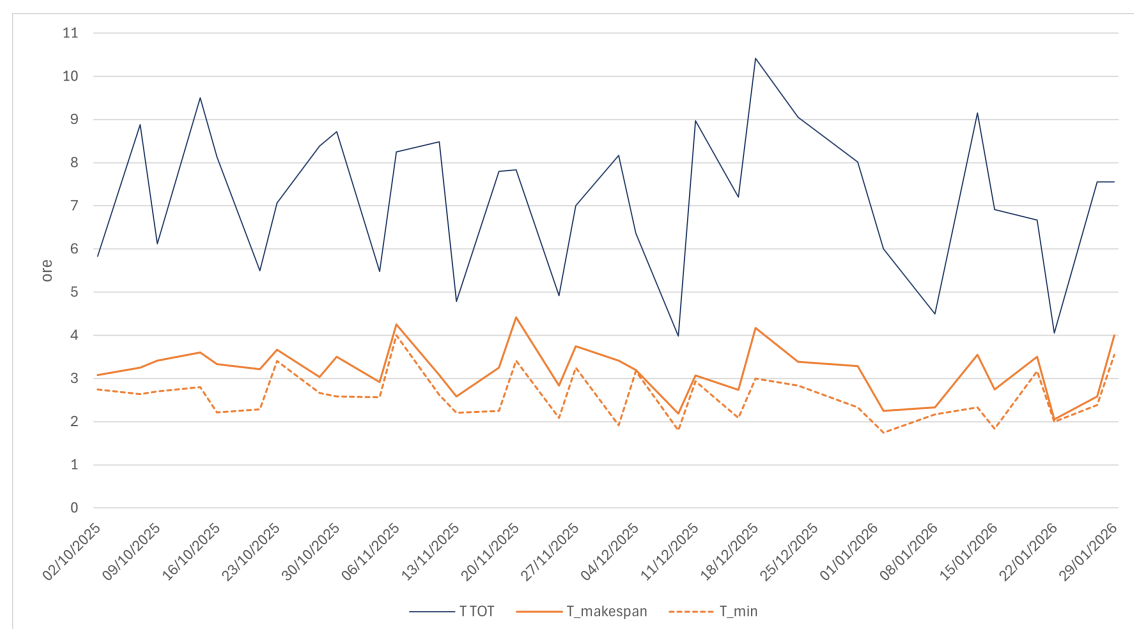


Figura 3.10: Durata del servizio sul periodo analizzato: ore totali/giorno, ore della tratta più lunga, ore della tratta più breve

La figura 3.10 mostra l'andamento temporale dei tempi di servizio nel periodo di osservazione, distinguendo tra il tempo totale giornaliero, il valore massimo e il valore minimo tra le rotte assegnate. Il tempo totale evidenzia una marcata variabilità tra le diverse giornate, con oscillazioni che vanno dalle quattro ore di servizio fino a più di dieci. L'analisi del *makespan* temporale risulta particolarmente significativa, in quanto rappresenta il tempo impiegato dalla squadra maggiormente impegnata in ciascuna giornata. In numerose occasioni, questa misura assume valori sensibilmente più elevati rispetto al minimo: tale *range* suggerisce che, anche in presenza di un tempo totale relativamente contenuto, alcune giornate presentano un carico operativo sbilanciato, con una singola squadra chiamata a sostenere una quota rilevante del lavoro complessivo.

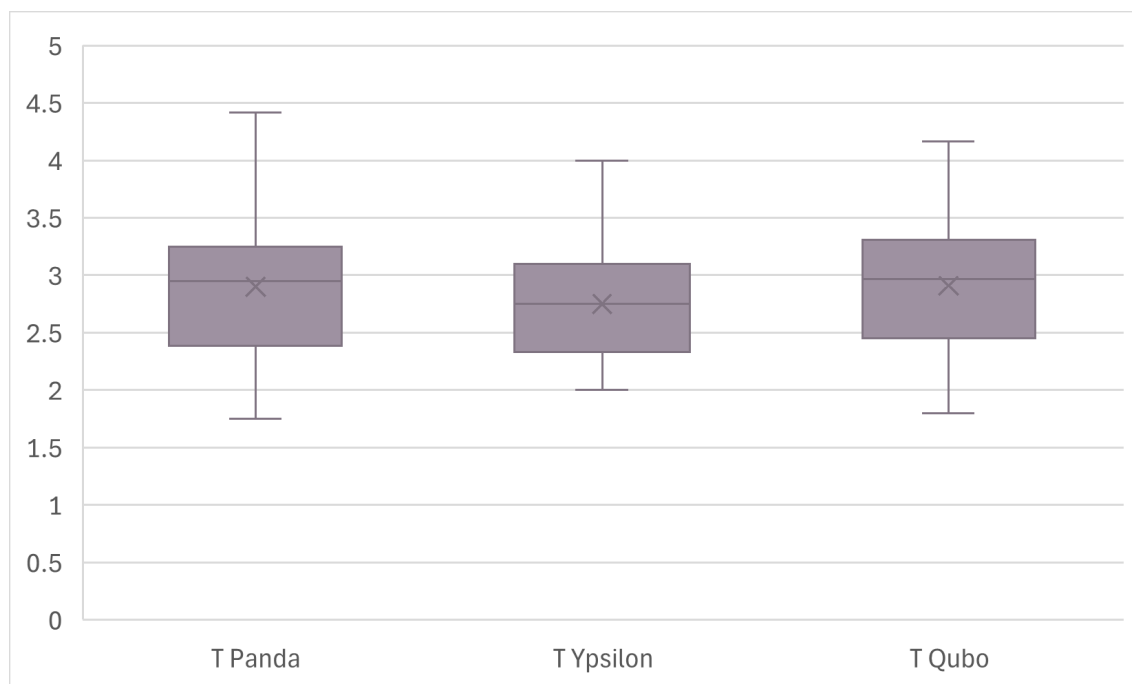


Figura 3.11: Boxplot dei tempi impiegati da ogni auto aziendale

La figura 3.11 riporta la distribuzione dei tempi di percorrenza per ciascun veicolo mediante boxplot, consentendo una valutazione sintetica della variabilità del carico temporale delle rotte lungo l'intero periodo analizzato. Il boxplot evidenzia mediane molto simili tra le diverse rotte, indicando che il carico temporale assegnato alle squadre risulta sostanzialmente comparabile. Ciò suggerisce che, nello scenario AS IS, non esiste un veicolo sistematicamente penalizzato in termini di tempo medio di percorrenza, né una differenziazione strutturale nell'assegnazione del carico. L'intervallo interquartile, rappresentato dall'ampiezza del box, risulta contenuto e di dimensioni analoghe per tutte le rotte, segnalando che nel 50% centrale delle giornate i tempi di percorrenza delle squadre si collocano entro un intervallo relativamente stabile. Tuttavia, l'estensione dei valori massimi, evidenziata dai baffi superiori, mostra la presenza di giornate in cui una singola rotta può raggiungere durate significativamente più elevate rispetto alla mediana. Tali situazioni rappresentano condizioni operative particolarmente onerose e confermano che le principali criticità del sistema non emergono a livello medio, ma sono associate a specifiche configurazioni della domanda, alla modalità operativa di allocazione dei carichi di lavoro, basata sull'uniformare il quantitativo di consegne e sul collocarle a livello distrettuale, e al routing.

3.4 Raccolta e analisi dei dati

3.4.1 Rilevazioni

Le lacune informative relative ad alcuni sottoprocessi del servizio – come il ritiro dei colli presso la farmacia ospedaliera, il trasporto, sia in termini di distanze sia di durate, tra le tappe e le consegne dei farmaci ai pazienti – sono state parzialmente

compensate da un numero limitato di osservazioni dirette, finalizzate alla raccolta di dati non rilevabili dai fogli di marcia dei veicoli o da altri database aziendali. Grazie allo *shadowing* su alcune giornate di servizio, è stato possibile suddividere in *cluster* gli indirizzi, cioè capire come il carico giornaliero complessivo è stato assegnato alle diverse squadre, e come le consegne di ogni rotta sono state organizzate, in ordine di visita. Sono state inoltre raccolte ulteriori informazioni sul servizio, come distanze e tempi medi tra tappe e durata del prelievo dei colli e delle consegne al paziente. Questi dati sono stati successivamente utilizzati per il confronto con gli scenari ottimizzati.

3.4.2 Costi

I costi operativi relativi al servizio, come richiesto dalla Fondazione, sono stati stimati prendendo in considerazione due componenti: i costi di trasporto e lo *shadow cost* del lavoro equivalente. Tuttavia, nella situazione attuale, gli unici flussi di cassa, negativi, generati dal servizio sono le spese relative all'utilizzo dei veicoli impiegati per il trasporto. Per ottenerne una stima –non si è fatto riferimento a valori contabili interni, non essendo disponibili in forma dettagliata–, sono stati utilizzati i costi chilometrici standard pubblicati dall'Automobile Club d'Italia (ACI). Le tabelle ACI riportano i costi chilometrici di esercizio di autovetture e motocicli, con una suddivisione basata sulla tipologia di veicolo e alimentazione e una copertura che si estende a una vasta gamma di modelli, siano essi ancora in produzione o meno. Come riportato in tabella 3.1, per ogni auto aziendale dedicata al servizio è stata individuata la categoria di riferimento nelle tabelle ed è stato rilevato il corrispondente costo chilometrico, comprensivo di carburante, ammortamento, manutenzione ordinaria e straordinaria, costo dell'assicurazione e della tassa automobilistica. Sono esclusi eventuali importi relativi a parcheggi o pedaggi autostradali, ma non sono rilevanti ai fini dell'analisi indirizzata alle consegne di farmaci nella città di Torino.

Alimentazione	Marca	Modello	Costo (€/km)
Benzina	FIAT	Panda 1.2 69CV	0,3674
Benzina/GPL	Lancia	Ypsilon 1.2 69CV 5P Benz+GPL	0,4124
Benzina/Metano	FIAT	Qubo 1.4 70CV Benz+Met	0,3967

Tabella 3.1: Riepilogo caratteristiche dei veicoli utilizzati e costi chilometrici ACI

Trattandosi di valori simili, si è deciso di utilizzare, per tutti i veicoli impiegati, la media dei costi (/km) individuati. Il costo giornaliero di trasporto è stato quindi calcolato come prodotto tra il costo chilometrico medio e la distanza (in km) complessivamente percorsa in una giornata di consegne, metrica ottenuta dalle informazioni presenti sui fogli di marcia. I flussi di cassa del servizio coincidono quindi con le uscite rappresentate dalle spese per i veicoli impiegati, che oscillano tra i 20 e i 50 euro al giorno, per una media di 34 € giornalieri. Pur trattandosi di costi contenuti, l'andamento giornaliero è variabile, con oscillazioni attribuibili al carico complessivo, alla distribuzione geografica delle consegne giornaliere, ma anche all'efficienza dell'assegnazione dei carichi e del processo di schedulazione delle rotte.

Il costo di trasporto rappresenta un indicatore diretto dell'efficienza operativa del servizio: giornate caratterizzate da percorsi meno ottimizzati, e quindi più lunghi, si traducono in un incremento dei costi.

Il tempo dei volontari, pur non essendo retribuito, rappresenta una risorsa scarsa e, come tale, possiede un valore economico implicito. Per tenerne conto, è stato utilizzato uno *shadow cost*, cioè un costo ipotetico per valorizzare il lavoro volontario e ottenere un'analisi dei costi più completa e realistica, confrontabile con modelli alternativi di erogazione del servizio (affidamento a dipendenti o esternalizzazione).

Categoria	Tipologia attività	Valore
2	<ul style="list-style-type: none"> • Aiuto cuoco • Autista • Mediatore culturale senza titolo • Operatore centralino 	8,39 €/ora
3	<ul style="list-style-type: none"> • Autista qualificato • Cuoco • Elettricista • Idraulico • Meccanico • Operaio specializzato • Operatore amministrativo • Operatore polivalente • Operatore sociale • Partecipanti ai corsi di formazione • Partecipanti a gare ed eventi associativi 	9,18 €/ora

Tabella 3.2: Valorizzazione economica delle attività volontarie (CRI)

Quindi, pur non rappresentando una spesa reale per l'organizzazione, lo *shadow cost* permette di valutare l'impatto economico complessivo del servizio. Il costo unitario del lavoro è stato determinato sulla base di un criterio definito dalla Croce Rossa Italiana (CRI) per la valorizzazione del volontariato, secondo il quale a otto categorie di attività si associa una diversa retribuzione oraria lorda equivalente. Le mansioni dei volontari trasportatori di FARO includono la guida (si tratta di autisti non qualificati) per il trasporto dei farmaci e l'assistenza a persone fragili. Con riferimento alla tabella 3.2, le mansioni del servizio si collocano quindi in parte all'interno della categoria 2, dove rientra la figura dell'autista, e in parte nella 3, comprendente diverse tipologie di operatori sociali, tra cui quella dell'operatore sociale generico (a cui potremmo associare i volontari di FARO). La retribuzione oraria utilizzata per il calcolo giornaliero dello *shadow cost* deriva quindi da una media tra quelle corrispondenti alle due categorie menzionate. La durata del servizio è anch'essa derivata dai fogli di marcia dei veicoli impiegati, che riportano il numero

di squadre, ciascuna composta da due volontari, e gli orari di inizio e fine del servizio. Andrebbe anche considerata la durata del briefing per la programmazione del trasporto, durante il quale si assegnano i carichi di lavoro e si definiscono approssimativamente i percorsi da seguire, ma è stata esclusa dal conteggio delle ore giornaliere di servizio per mancanza di dati storici. Questa voce di costo risulta essere più significativa rispetto ai costi di trasporto, attestandosi mediamente intorno ai 125 euro al giorno, con un andamento anch'esso variabile nel tempo. L'analisi congiunta delle due componenti mette in evidenza un aspetto rilevante: se da un lato il servizio risulta sostenibile in termini di flussi di cassa (valori negativi ma contenuti, in linea con la natura no profit dell'ente), dall'altro il suo funzionamento è reso possibile da un apporto di lavoro il cui valore economico è tutt'altro che trascurabile. L'incidenza dei costi delle risorse umane, seppur non monetizzati, evidenzia come l'efficienza del servizio non possa essere valutata esclusivamente sulla base dei costi contabilizzati, ma debba tenere conto anche del valore del capitale umano impiegato. Inoltre, la distinzione tra costi reali e fittizi delle risorse permette di separare chiaramente due dimensioni dell'analisi: l'efficienza economico-finanziaria di breve periodo e l'efficienza complessiva del servizio nel lungo termine. Mentre la prima è fortemente influenzata dall'ottimizzazione dei percorsi e dall'uso dei mezzi, la seconda dipende in misura significativa dall'organizzazione del lavoro e dal carico assegnato ai volontari. I picchi nei costi figurativi delle risorse umane tendono a manifestarsi nelle giornate in cui il servizio viene svolto impiegando tre squadre di consegna, rispetto alle configurazioni che prevedono un numero inferiore di squadre. Questo andamento suggerisce che l'aumento del numero di risorse impiegate non sempre si traduce in un miglioramento proporzionale delle prestazioni operative, ma può invece generare un incremento significativo del costo complessivo del sistema. Nel contesto attuale, il dimensionamento delle risorse passa in secondo piano dal punto di vista economico-finanziario, essendo le risorse umane coinvolte su base volontaria. Di conseguenza, l'impatto immediato di un sovradimensionamento delle squadre non si riflette nei costi contabilizzati, rendendo meno evidente, nel breve periodo, l'inefficienza associata all'impiego di un numero eccessivo di risorse. Questo rafforza quindi la distinzione tra efficienza economico-finanziaria di breve periodo, guidata principalmente dal contenimento dei costi di trasporto, ed efficienza sistemica di lungo periodo, che dipende in misura significativa dal corretto dimensionamento delle risorse e dall'equilibrio tra numero di squadre, carico di lavoro e prestazioni operative. Tale differenza risulta particolarmente utile per supportare valutazioni strategiche e decisionali, fornendo una base per l'analisi di scenari futuri e per una riflessione sui benefici derivanti dall'introduzione di strumenti avanzati di pianificazione e supporto decisionale.

3.4.3 Criticità

Il servizio analizzato presenta diverse criticità, le quali si configurano come rischi operativi che, se non adeguatamente individuati e gestiti, possono compromettere l'efficacia dei processi di pianificazione ed esecuzione e influire negativamente sulle performance delle attività. Per questo motivo, risulta necessario adottare un approccio strutturato che consenta di identificare e analizzare sistematicamente le principali fonti di incertezza presenti nel servizio. Innanzitutto, è stata definita una

Risk Breakdown Structure (RBS) del servizio, riportata in tabella 3.3, con l'obiettivo di individuare in modo organico, scomponendole in elementi più semplici e omogenei, le fonti di rischio associate alle diverse fasi del processo e costituire la base per le successive attività di valutazione e prioritizzazione dei rischi.

Livello 1	Livello 2	Livello 3
Pianificazione	Richieste	Foglio degli indirizzi
		Integrazione con altre basi dati
	Modello decisionale	Vincoli
		Variabili
	Scheduling	Procedure e standardizzazione
Esecuzione	Controllo e tracciabilità	Strumenti di supporto
		Storage

Tabella 3.3: Risk Breakdown Structure (RBS) del servizio

La struttura gerarchica della RBS è articolata su tre livelli: il primo distingue le due macro-fasi del servizio, ovvero la pianificazione e l'esecuzione, riflettendo la separazione concettuale tra le attività decisionali e quelle operative; il secondo identifica le principali categorie di rischio all'interno di ciascuna macro-fase, quali la gestione delle richieste, il modello decisionale, le attività di scheduling, nonché il controllo e la tracciabilità del servizio; infine, il terzo livello individua gli specifici aspetti in cui può originarsi l'incertezza, come la qualità dei dati sugli indirizzi, l'integrazione con altre basi informative, la corretta definizione di vincoli e variabili decisionali, la standardizzazione delle procedure utilizzate e l'impiego di strumenti di supporto e sistemi di archiviazione. In questo modo, la RBS evidenzia in quali componenti del processo il servizio risulta più esposto a potenziali inefficienze o errori. Tale impostazione risulta particolarmente utile per collegare le fonti di rischio ai *work package* della WBS e per supportare una successiva analisi, finalizzata alla valutazione dell'impatto dei rischi sulle prestazioni del servizio in termini di tempi e costi. L'intersezione tra i livelli di massimo dettaglio della RBS e della WBS consente di individuare le manifestazioni operative del rischio, ovvero i casi in cui una specifica fonte di incertezza può concretamente influire sull'esecuzione di un determinato task. A partire da tale intersezione è stata costruita la *Risk Breakdown Matrix* (RBM), riportata in tabella 3.4. Nella RBM, le righe corrispondono ai *work package* individuati nella WBS, mentre le colonne rappresentano le fonti di incertezza di terzo livello definite nella RBS. Le celle attive della matrice contengono gli identificativi delle manifestazioni di rischio, che costituiscono i rischi specifici del servizio e che vengono successivamente descritti e analizzati in termini di probabilità e impatto.

	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
Determinazione del carico							
Dimensionamento risorse			4				
Suddivisione del carico	1,2		5	5			
Routing	1				6		
Ritiro colli		3					
Trasporto	1					7	
Consegna al paziente	1						
Gestione documentazione					8		8

Tabella 3.4: Matrice RBM

Gli *ID* corrispondono alle seguenti manifestazioni dei rischi:

1. Errori inerenti ai dati anagrafici e agli indirizzi: fanno riferimento a errori, principalmente di battitura, nella scrittura dei dati del paziente sul foglio degli indirizzi;
2. Errori nella geolocalizzazione degli indirizzi: riguardano l'associazione tra l'indirizzo di consegna e il distretto Nord/Sud della città di Torino, utile per una prima collocazione geografica dei punti di consegna;
3. Incongruenze tra i colli in magazzino e le consegne da effettuare: sono dovute all'incoerenza informativa tra basi dati diverse, il portale gestionale della ASL e il foglio degli indirizzi, spesso legata al disallineamento temporale;
4. Sovradimensionamento delle risorse: dovuto al fatto che le decisioni circa il dimensionamento delle risorse si basano sul vincolo di limitare a una decina le consegne per ogni squadra;
5. Sbilanciamento del carico tra le squadre: spesso dovuto ad una suddivisione del carico basata solo sul numero complessivo di consegne giornaliere e non anche sulla distribuzione territoriale;
6. Routing non ottimizzato: dovuto a una schedulazione delle consegne basata su procedure manuali poco definite e standardizzate, eseguite direttamente dai volontari trasportatori;
7. Deviazione dal routing pianificato: la mancanza di strumenti a supporto della guida e della navigazione determina deviazioni dal percorso programmato;
8. Perdita di informazioni sull'esecuzione del servizio: è dovuta sia a una mancata standardizzazione sulla raccolta dei dati relativi all'allocazione del carico tra le squadre e al routing, sia alla mancanza di un supporto dedicato per l'archiviazione di tutte le informazioni relative a questo specifico servizio di home delivery.

Al fine di individuare quali, tra i rischi identificati, impattano maggiormente le prestazioni temporali del servizio e le distanze percorse – e quindi i costi operativi, strettamente legati all’utilizzo dei veicoli aziendali – è stato introdotto il concetto di esposizione al rischio. Tale indicatore fornisce una misura sintetica della rilevanza dei singoli rischi e consente di confrontarli in modo omogeneo. L’esposizione al rischio è definita come il prodotto tra la probabilità di accadimento e l’impatto atteso sulle prestazioni considerate. Nel caso in esame, l’impatto è stato valutato separatamente con riferimento ai tempi di esecuzione e ai costi, ottenendo due distinte matrici di rischio, riportate in figura 3.12. Poiché il servizio analizzato non dispone di una base storica strutturata relativa al verificarsi dei rischi, è stato adottato un approccio qualitativo alla valutazione dell’esposizione. In particolare, sia la probabilità di accadimento sia l’impatto sono stati stimati mediante l’utilizzo di scale discrete a cinque livelli, che vanno da molto basso a molto alto. L’assegnazione dei livelli è avvenuta sulla base delle caratteristiche del servizio, dell’analisi dei processi e delle osservazioni emerse nella fase di studio del funzionamento operativo. Questo approccio consente, pur in assenza di dati quantitativi, di individuare le manifestazioni di rischio più critiche, sulle quali risulta prioritario concentrare l’attenzione in ottica di ottimizzazione.

TEMPI		Impatto sui tempi				
		MB	B	MED	A	MA
Probabilità	MB					
	B			2,3		
	MED				1	
	A		4		5,7	
	MA					6

COSTI		Impatto sui costi				
		MB	B	MED	A	MA
Probabilità	MB					
	B				2	
	MED				1	
	A			8	5,7	
	MA					6

Figura 3.12: Esposizione ai rischi 1–8, in termini di tempi e costi

Il rischio numero 1 si verifica di frequente, con errori di battitura relativi ai dati dei pazienti, che, rilevati in fase di programmazione del trasporto, a volte si risolvono in correzioni intuibili e immediate, mentre altre richiedono verifiche a monte. L’impatto, in questo caso, riguarda esclusivamente le tempistiche, e non il chilometraggio giornaliero. Tuttavia, qualora questi errori vengano rilevati soltanto in fase di trasporto e consegna al cliente potrebbero non solo prolungare i tempi di esecuzione

(come un citofono mancante), ma anche determinare variazioni di percorso (come un indirizzo errato), con conseguente impatto sui costi di trasporto. Considerazione simile vale anche per il rischio n. 2, che tuttavia risulta essere meno frequente e riguardare solo la fase di pianificazione e, pertanto, le tempistiche del servizio. Gli errori di sincronizzazione tra portale della ASL e i dati gestiti da FARO ETS (rischio n. 3), invece, impattano esclusivamente sui tempi e, in particolare, sulla durata del ritiro dei colli, durante la fase di esecuzione del servizio. Le incongruenze rilevate al momento del prelievo presso la farmacia ospedaliera richiedono infatti verifiche a monte. Il sovradimensionamento delle risorse, identificato come rischio n. 4 e riferito all'impiego di tre squadre operative anche in assenza di una reale necessità, non risulta particolarmente critico in termini di impatto immediato sui flussi di cassa del servizio. Tale valutazione è principalmente riconducibile alla natura volontaria delle risorse umane coinvolte, che fa sì che l'utilizzo di un numero maggiore di squadre non generi un incremento diretto dei costi di esercizio né un peggioramento significativo delle prestazioni di breve periodo. Come discusso nel paragrafo precedente, le inefficienze associate a un dimensionamento non ottimale delle squadre emergono soprattutto in una prospettiva di sostenibilità organizzativa di lungo periodo e, per questo motivo, verranno considerate in forma limitata nel processo di ottimizzazione proposto, che è invece principalmente orientato al miglioramento delle prestazioni operative e al contenimento dei costi direttamente sostenuti dall'organizzazione. In fase di pianificazione, i rischi n. 5 - sbilanciamento dei carichi giornalieri assegnati alle diverse squadre - e 6 - routing poco ottimale - e, in fase di esecuzione, il n. 7 - deviazioni dal routing pianificato - determinano inefficienze sia in termini di distanze percorse sia di tempi impiegati, risultando molto critici. Infine, il rischio n. 8, relativo a mancanze di procedure standardizzate nel tracciare le decisioni operative e le performance esecutive e di supporti di storage dedicati al servizio, si manifesta durante la fase esecutiva di trasporto, consegna al paziente e gestione della inerente documentazione (suddivisione carichi, routing, eccezioni, foglio di marcia). Questo, pur non impattando sul chilometraggio dei veicoli, genera costi indiretti di non qualità e, potenzialmente, anche di compliance. Queste valutazioni, come rappresentato in figura 3.14, permettono di assegnare diverse priorità ai rischi identificati. In particolare, l'assegnazione dei carichi di lavoro, il routing, sia in fase di pianificazione sia di trasporto, e la gestione della documentazione risultano aspetti critici per il servizio e, di conseguenza, rappresentano oggetto prioritario della successiva ottimizzazione. La soluzione sviluppata, come dettagliato al capitolo successivo, ha l'obiettivo di ottimizzare e automatizzare queste procedure, introducendo un criterio razionale nell'assegnazione del carico di lavoro alle squadre e nel routing e fornendo uno strumento *software* per facilitare il lavoro dei volontari e la gestione e archiviazione delle informazioni inerenti ai servizi giornalieri.

3.4.4 Requisiti

L'analisi delle criticità del servizio ha evidenziato l'esigenza di sostituire la modalità attuale di programmazione del trasporto con un processo automatizzato e controllato a monte, che semplifichi il lavoro dei volontari, focalizzandolo sui task esecutivi, e che generi maggiore efficienza e controllo nella pianificazione del servizio. In figura 3.13 sono evidenziati i cambiamenti nel flusso TO BE del servizio.

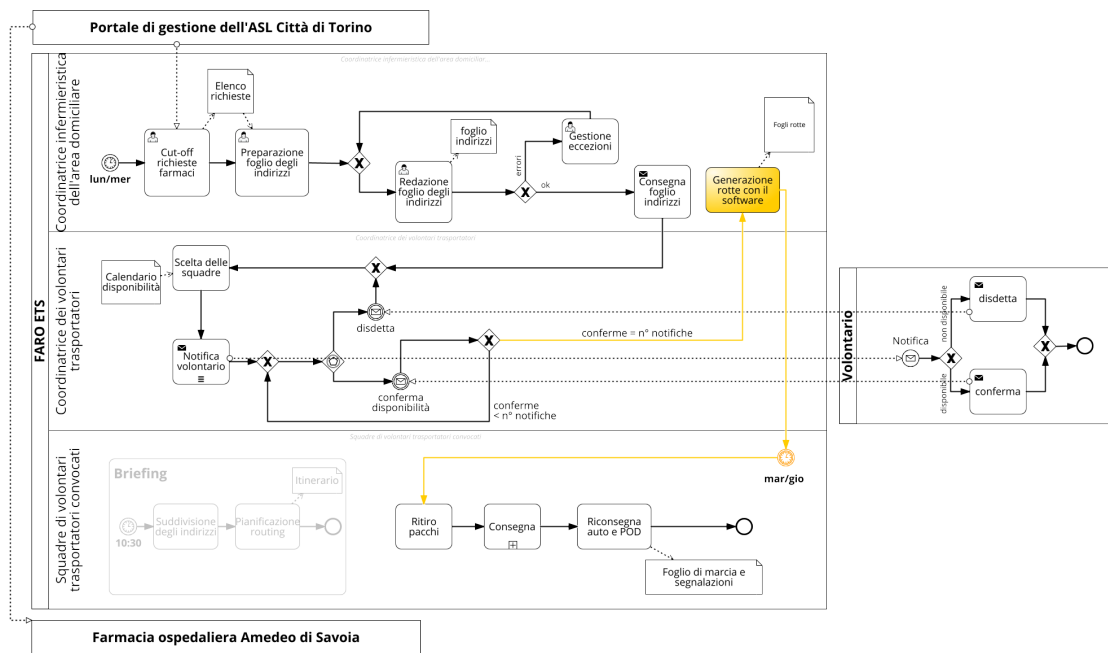


Figura 3.13: BPMN TO-BE

In questa sezione viene riportata l'analisi dei requisiti che hanno guidato lo sviluppo del sistema descritto nel capitolo successivo, finalizzato a supportare la pianificazione logistica delle consegne. L'obiettivo è descrivere e formalizzare in modo chiaro e tracciabile le esigenze operative emerse dal contesto FARO, traducendole in funzionalità e caratteristiche attese del software, così da guidarne lo sviluppo e predisporre criteri oggettivi per la successiva attività di verifica e validazione. A tal fine, i requisiti vengono descritti su due livelli complementari: da un lato, tramite lo *Use Case Diagram*, che rappresenta gli attori coinvolti (operatore FARO, volontari) e le principali interazioni con il sistema; dall'altro, attraverso una classificazione secondo il metodo *MoSCoW* (Must, Should, Could, Won't), utile a prioritizzare i requisiti in funzione di valore, urgenza e vincoli progettuali. Lo *Use Case Diagram* descrive le funzionalità del sistema in relazione agli utilizzatori e offre una vista sintetica dei requisiti funzionali, favorendo l'allineamento degli stakeholder sul perimetro del prodotto. La classificazione MoSCoW, invece, supporta le decisioni di *Project Management* su *scope*, tempi e risorse, esplicitando ciò che è indispensabile per l'adozione della soluzione, ciò che è importante ma rimandabile e ciò che esula dallo *scope* della versione corrente. In aggiunta, per ciascun requisito è stato definito un relativo *criterio di accettazione*, inteso come condizione verificabile che consente di stabilire in modo univoco quando il requisito possa considerarsi soddisfatto. Questa scelta consente di collegare direttamente la fase di analisi alla fase di test, rendendo tracciabile la copertura dei requisiti e facilitando l'impostazione delle attività di verifica e validazione (ad es. *system test* e *acceptance/field validation*). Mentre il diagramma in figura 3.14 formalizza l'architettura logica dei bisogni e delle interazioni, le tabelle 3.5 e 3.6 guidano la pianificazione dello sviluppo e la successiva valutazione oggettiva delle prestazioni del software.

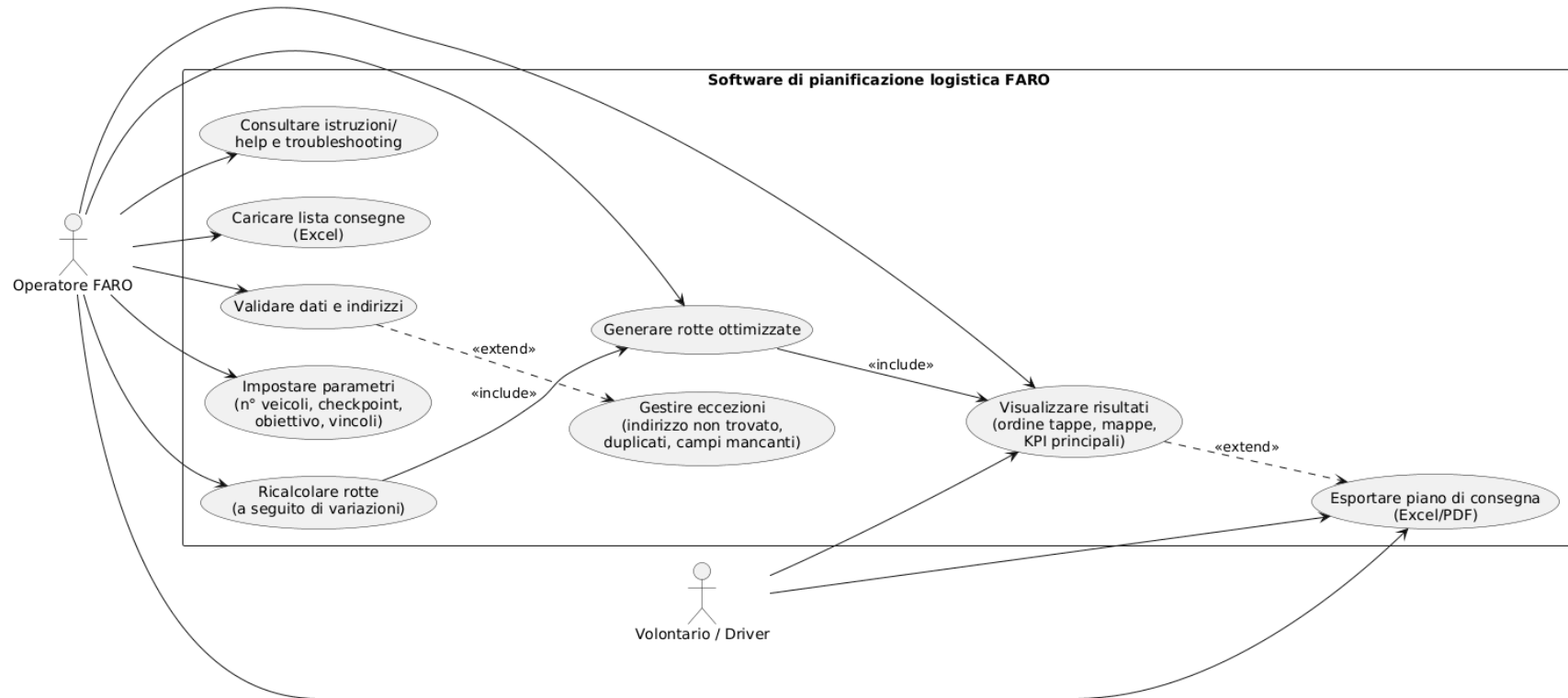


Figura 3.14: Use-case diagram del software di pianificazione logistica FARO

ID	MoSCoW	Requisito
FR1	Must	L'operatore deve poter caricare un file Excel
FR2	Must	Il sistema deve permettere la visualizzazione dell'anteprima del foglio
FR3	Must	Il sistema deve estrarre e pulire l'indirizzo a partire dalla cella dell'Excel
FR4	Must	Il sistema deve geocodificare gli indirizzi
FR5	Must	Il sistema deve evidenziare gli indirizzi non geocodificati e consentire all'operatore di correggerli e ritentare la geocodifica
FR6	Should	L'operatore deve poter modificare/aggiungere/eliminare consegne prima del calcolo delle rotte.
FR7	Must	L'operatore deve poter impostare i parametri di pianificazione: numero di veicoli, deposito e checkpoint
FR8	Should	L'operatore deve poter modificare il peso delle componenti della funzione obiettivo
FR9	Must	L'operatore deve poter avviare il calcolo delle rotte e ottenere una soluzione per tutti i veicoli
FR10	Must	Il sistema deve mostrare, per ciascun veicolo, l'ordine delle tappe (deposito, checkpoint, consegne, rientro al deposit)
FR11	Must	Il sistema deve generare un output stampabile/esportabile delle rotte per veicolo
FR12	Should	Il sistema deve generare link Google Maps con percorso preimpostato, utilizzabili dai volontari
FR13	Could	Il sistema deve mostrare una mappa interattiva delle rotte
FR14	Should	Il sistema deve mostrare statistiche giornaliere e salvarle automaticamente in una directory
<hr/>		
NFR1	Must	Usabilità: l'operatore deve poter eseguire la pianificazione con pochi passaggi e senza competenze tecniche
NFR2	Must	Robustezza: in caso di errori di input, il sistema deve fornire messaggi chiari e guidare la correzione
NFR3	Should	Accessibilità: rotte e link devono essere facilmente consultabili e condivisibili con i volontari
NFR4	Should	Ripetibilità: a parità di input e parametri, i risultati devono essere riproducibili (o con qualità stabile)
NFR5	Should	Performance: il tempo di calcolo deve essere compatibile con la pianificazione quotidiana
NFR6	Could	Manutenibilità: il sistema deve produrre log e salvataggi automatici per il controllo

Tabella 3.5: Requisiti del sistema e prioritizzazione MoSCoW.

ID	Criteri di accettazione
FR1	Caricando un file Excel conforme al template, il sistema mostra il nome del file e lo salva in data/input
FR2	Dopo l'import, l'operatore visualizza un'anteprima del contenuto
FR3	Per ciascuna riga, il sistema produce un indirizzo estratto/normalizzato
FR4	Per ogni indirizzo normalizzato, il sistema permette la geocodifica e mostra i risultati (lat, lon)
FR5	Il sistema elenca gli indirizzi non geocodificati e consente all'operatore di modificarli e rilanciare la geocodifica
FR6	Il sistema mostra un editor completo degli indirizzi
FR7	L'interfaccia permette di impostare i parametri di pianificazione, che il sistema utilizza nel calcolo delle rotte
FR8	L'operatore può modificare i pesi delle componenti della funzione obiettivo; a parità di input, il sistema ricalcola la soluzione relativa alla nuova configurazione
FR9	Il sistema mostra "Calcolo rotte" e calcola la soluzione
FR10	Per ogni veicolo il sistema mostra l'ordine delle tappe includendo deposito, checkpoint, consegne ordinate e rientro al deposito
FR11	Il sistema genera un output stampabile/esportabile con l'elenco tappe per veicolo in formato leggibile e utilizzabile operativamente
FR12	Per ciascun veicolo il sistema genera un link Google Maps con tappe coerenti con l'ordine calcolato; aprendo il link, il percorso risulta già impostato e utilizzabile dai volontari
FR13	Il sistema visualizza una mappa interattiva che rappresenta le rotte
FR14	Il sistema mostra le statistiche giornaliere (numero consegne per rotta e indicatori di percorrenza/tempi stimati) e le salva automaticamente in una directory configurata, senza richiedere interventi manuali
NFR1	L'operatore riesce a completare l'intero flusso con un numero limitato di passaggi; interfaccia e messaggi sono comprensibili
NFR2	In presenza di errori di input, il sistema non va in crash e fornisce messaggi chiari che indicano il problema e l'azione correttiva
NFR3	Rotte, output e link Google Maps sono facilmente condivisibili: l'operatore riesce a stampare le rotte e a condividere, tramite QR code, i percorsi ai volontari
NFR4	A parità di input e configurazione, il sistema produce risultati riproducibili (o con variazioni trascurabili)
NFR5	Il tempo di risoluzione è compatibile con la pianificazione quotidiana del servizio (6-10 min)
NFR6	Il sistema produce salvataggi automatici utili a verificare esecuzioni e anomalie, facilitando la manutenzione

Tabella 3.6: Criteri di accettazione per requisiti funzionali (FR), vincoli (C) e requisiti non funzionali (NFR).

Capitolo 4

Soluzione di miglioramento

Individuate le specificità del servizio, le sue criticità e le esigenze da soddisfare, è stata sviluppata una soluzione che potesse migliorarlo, efficientando i processi e integrandoli con i requisiti determinati. La soluzione di miglioramento proposta si basa sull'automatizzazione e la razionalizzazione dei principali processi logistici, come la suddivisione del carico di lavoro, il routing e il trasporto, e della gestione della documentazione, attualmente implementati in modo manuale e poco standardizzato, con inefficienze che si traducono in tempi e costi maggiori. Il primo passo è stata la ricerca di un fondamento teorico che potesse guidare il miglioramento e, a questo scopo, il servizio analizzato è stato inquadrato come una variante del cosiddetto *Vehicle Routing Problem* (VRP), un modello consolidato nella ricerca operativa e uno dei problemi di ottimizzazione combinatoria più studiati in ambito logistico. Il VRP prevede la pianificazione dei percorsi ottimali di una flotta di veicoli che devono servire un insieme di clienti distribuiti sul territorio. In termini generali, consiste nel determinare come assegnare le destinazioni ai veicoli e in quale ordine visitarle, partendo da uno o più depositi, in modo da minimizzare una funzione obiettivo, tipicamente rappresentata dalla distanza totale percorsa o dal tempo di viaggio complessivo, rispettando al contempo una serie di vincoli operativi. Dal momento che, per il servizio analizzato, la capacità dei veicoli non costituisce un vincolo, il problema è più correttamente riconducibile ad una variante del *Traveling Salesman Problem* (TSP), nella versione multi veicolo. Nel processo di consegna a domicilio di farmaci per le cure palliative di FARO, l'ottimizzazione delle rotte rappresenta un elemento chiave per garantire efficienza operativa, sostenibilità economica e qualità del servizio reso agli utenti finali. L'obiettivo è quello di ridurre al minimo le distanze percorse, con particolare attenzione anche al loro bilanciamento tra le diverse squadre, ed è giustificato non solo dal contenimento di costi, tempi e impatto ambientale, ma anche dalla volontà di valorizzare al massimo l'operato dei volontari, intervenendo nella fase di pianificazione al fine di evitare tempi morti e inefficienze. Quindi, il punto non è solo ridurre i flussi di cassa negativi del servizio, ma anche rendere il giusto riconoscimento all'impegno e alla dedizione dei volontari, alleggerendoli delle mansioni più tecniche e garantendo una distribuzione equa delle attività esecutive tra le squadre. Inoltre, la soluzione sviluppata non si limita alla modellizzazione del problema e alla ricerca di un algoritmo risolutivo, ma si estende alla creazione di uno strumento pratico fruibile dalla Fondazione per efficientare e migliorare

il servizio. Il TSP fornisce il quadro teorico di riferimento entro cui si colloca il software prototipale sviluppato per il miglioramento, traducendo un problema reale di pianificazione delle consegne in un modello strutturato e risolvibile mediante strumenti informatici. L'infrastruttura software sviluppata presenta una struttura volutamente essenziale, pensata come una base funzionale a supporto del servizio di volontariato piuttosto che come un sistema completo e definitivo. Tuttavia, le funzionalità del software non si limitano alla risoluzione del problema di ottimizzazione, ma includono l'automatizzazione delle principali fasi abilitanti il processo risolutivo: la normalizzazione e validazione degli indirizzi, la geocodifica su rete stradale reale, il calcolo delle distanze e dei tempi di percorrenza e, infine, la determinazione delle rotte. Il software è stato progettato per garantire la massima usabilità per l'utente finale, tenendo in considerazione la tipologia e il formato dei dati di cui dispone la Fondazione e sviluppando una user interface (UI) in grado di semplificare le interazioni e gestire le principali eccezioni. La decisione di creare uno strumento concreto è stata poi motivata dal desiderio di verificare se, a seguito dell'inquadramento del servizio e delle sue inefficienze attraverso metodi e strumenti gestionali, fosse possibile non solo identificare i requisiti necessari per guidare il miglioramento, ma anche tradurli in una soluzione applicativa che potesse apportare un valore tangibile alla Fondazione, che, dotata di risorse insufficienti per rivolgersi a una software house, necessitava di uno strumento che rispondesse ad esigenze pratiche. L'interesse era, dunque, capire se le competenze gestionali, supportate dai moderni strumenti di intelligenza artificiale, fossero sufficienti non solo per indirizzare il miglioramento, ma anche per concretizzarlo in una soluzione realizzabile. Pur nella sua semplicità, il software rappresenta un passaggio fondamentale da una pianificazione manuale delle consegne, spesso sub-ottimale, a un approccio data-driven e strutturato, fornendo a FARO uno strumento replicabile, adattabile e potenzialmente scalabile a scenari più complessi di distribuzione nel medio-lungo periodo. In questo capitolo saranno presentati i metodi e gli strumenti che hanno supportato lo sviluppo della soluzione, nonché l'impostazione teorica su cui si basa il funzionamento del software. Infine, verranno descritte le principali fasi di implementazione dell'infrastruttura tecnica e come questa si rende funzionale alle esigenze di FARO ETS, presentando dei casi esemplificativi e confrontando i risultati ottenuti con un benchmark.

4.1 Prompt Engineering e AI per il volontariato

Negli ultimi anni, lo sviluppo e la diffusione dei modelli di intelligenza artificiale generativa hanno aperto nuove opportunità anche per il settore del volontariato e del non profit, tradizionalmente caratterizzato da risorse limitate e da una forte dipendenza dal lavoro umano. L'AI generativa è una classe di sistemi progettata per generare nuovi contenuti a partire da dati esistenti, anziché limitarsi ad analizzare o classificare informazioni: la caratteristica chiave è che l'output non è predefinito, ma viene creato dinamicamente in risposta a un input, sulla base di modelli statistici appresi durante la fase di addestramento. In questo contesto, il prompt engineering, cioè l'insieme delle tecniche e delle strategie utilizzate per progettare e formulare in modo efficace le istruzioni testuali (prompt) destinate ai modelli di intelligenza artificiale generativa, ha assunto un ruolo centrale, poiché rappresenta il ponte tra

le potenzialità dell'AI e i bisogni concreti delle organizzazioni. Poiché tali modelli generativi producono output sulla base del testo ricevuto in input, la qualità, la struttura e il contenuto del prompt influenzano in modo diretto e significativo il comportamento del sistema e la pertinenza dei risultati generati. In questo senso, il prompt rappresenta una vera e propria interfaccia di programmazione linguistica, attraverso la quale l'utente traduce un obiettivo operativo in un linguaggio comprensibile al modello. Attraverso la formulazione accurata di istruzioni testuali, è possibile guidare il comportamento dei modelli linguistici affinché producano output coerenti, utili e contestualizzati, riducendo la necessità di competenze tecniche avanzate da parte degli utenti. L'utilizzo consapevole del prompt engineering consente di trasformare l'intelligenza artificiale in uno strumento di supporto operativo e decisionale, piuttosto che in una tecnologia astratta o sperimentale. In ambito volontaristico, ciò si traduce nella possibilità di automatizzare o semplificare attività – come la riorganizzazione dei dati, la generazione di documentazione, il supporto alla pianificazione o l'interpretazione di informazioni complesse – liberando tempo ed energie da dedicare alle attività esecutive a maggiore impatto sociale. La qualità del prompt diventa quindi un fattore determinante per l'efficacia dell'interazione uomo-macchina, influenzando direttamente l'affidabilità e la pertinenza delle risposte fornite dal sistema. L'integrazione dell'AI nei processi del volontariato, se guidata da criteri di semplicità, trasparenza e controllo umano, può contribuire a rendere i servizi più efficienti, sostenibili e adattabili ai bisogni del territorio, rafforzando il ruolo della tecnologia come strumento al servizio delle persone. Nel corso del tirocinio è nata una riflessione concreta, riguardante la possibilità di realizzare, partendo da zero, senza una base software preesistente, una soluzione completa e realmente utilizzabile con il supporto di strumenti di intelligenza artificiale. L'obiettivo non era semplicemente produrre un prototipo dimostrativo, ma arrivare a un applicativo coerente in tutte le sue parti: dalla gestione e pulizia dei dati in ingresso, alla geocodifica degli indirizzi, fino al calcolo delle rotte e alla loro visualizzazione in un'interfaccia semplice per l'operatore. In questo senso l'AI è stata considerata non come "sostituto" delle competenze tecniche, ma come acceleratore nello sviluppo: supporto nella scrittura e nel *debugging* del codice e nella scelta dell'architettura più adatta. La domanda iniziale - verificare se l'AI, opportunamente utilizzata, possa contribuire a costruire, in tempi ridotti e con risorse limitate, un prodotto software affidabile e pronto per un impiego reale - ha quindi guidato il progetto. L'ingegneria dei prompt coinvolge alcuni elementi chiave: istruzioni, contesto, obiettivi, vincoli e formato. L'esplicitazione di tali elementi è fondamentale per ridurre ambiguità e aumentare la coerenza delle risposte, trasformando il modello da semplice generatore di testo a strumento di supporto operativo. Nel caso del supporto alla generazione di codice, come nel caso del progetto realizzato per FARO ETS, un prompt ben strutturato può guidare il modello nella produzione di soluzioni compatibili con specifici linguaggi, librerie o vincoli di utilizzo. Nella tabella a seguire si riportano i cinque elementi chiave e la loro declinazione nel progetto di miglioramento sviluppato nell'ambito del tirocinio curricolare presso FARO ETS.

Elementi di partenza	Progetto di ottimizzazione per FARO ETS
Istruzioni: cosa vuoi che l'AI faccia	Creare un'infrastruttura software semplicistica che supporti l'esecuzione automatica di un codice Python, sviluppato in modo tale da risolvere un problema di min-max M-TSP applicato al servizio di consegna domiciliare di FARO ETS, e un'interfaccia grafica per gestire gli input e mostrare gli output
Contesto: informazioni di background necessarie	Descrizione del servizio, delle modalità operative, dei costi, delle criticità, dei requisiti e dei dati a disposizione per sviluppare soluzioni alternative al modello AS IS (capitolo Analisi AS IS)
Obiettivi: risultati specifici desiderati	Automatizzare l'assegnazione degli indirizzi di consegna alle diverse squadre di volontari coinvolte nel servizio giornaliero di home delivery farmaceutico promosso da FARO ETS a Torino e definire il routing ottimale dei percorsi di ogni veicolo al fine di minimizzare la massima distanza percorsa (obiettivo min-max)
Vincoli: limitazioni e parametri da rispettare	Vincoli base: depot unico start/end e visita di ogni indirizzo una sola volta; vincoli caratterizzanti: checkpoint obbligatorio come prima tappa per ogni veicoli, bilanciamento del numero di consegne, numero di veicoli fissato
Formato: struttura dell'output richiesto	Pacchetto operativo stand-alone on-premise distribuito come cartella applicativa, con web app Streamlit e motore OSRM, per calcolare le rotte a partire da file Excel caricati dall'operatore

Tabella 4.1: Elementi chiave del prompt engineering e declinazione nel progetto di ottimizzazione per FARO ETS

4.2 Formulazione del problema di ottimizzazione min-max M-TSP

Il problema di ottimizzazione affrontato nel presente lavoro rientra nella classe dei problemi di instradamento multi-veicolo ed è riconducibile a una variante del *Multiple Traveling Salesman Problem* (M-TSP). Il M-TSP costituisce un'estensione del classico TSP, nel quale un singolo agente deve visitare una serie di nodi una sola volta minimizzando il costo complessivo del percorso: nel caso multi-veicolo, invece, il problema viene generalizzato considerando un insieme di m veicoli che

operano in parallelo, ciascuno dei quali parte da un deposito comune, visita un sottoinsieme dei nodi disponibili e ritorna al deposito al termine del proprio tour. Tale formulazione risulta particolarmente adatta a descrivere contesti logistici reali, nei quali più operatori condividono lo stesso punto di partenza e devono servire una domanda distribuita spazialmente. All'interno della famiglia dei problemi M-TSP, la variante *min-max* introduce un criterio di ottimizzazione orientato all'equilibrio dei percorsi piuttosto che alla sola efficienza globale. Nei modelli tradizionali, l'obiettivo è spesso la minimizzazione della somma totale dei costi di tutti i tour; tuttavia, tale approccio può generare soluzioni fortemente sbilanciate, in cui un veicolo sostiene un percorso significativamente più oneroso rispetto agli altri. Nella formulazione *min-max*, invece, l'obiettivo è la minimizzazione del costo massimo tra tutti i veicoli, noto anche come *makespan*. Questa impostazione è particolarmente rilevante in contesti in cui i veicoli sono associati a risorse umane, come nel caso di volontari, e in cui risulta fondamentale garantire una distribuzione equa del carico di lavoro. Nel contesto del servizio di consegna di farmaci a domicilio di FARO ETS, la scelta di una formulazione *min-max* M-TSP risponde a precise esigenze operative. Il servizio è svolto da un numero limitato di volontari, il cui tempo a disposizione rappresenta una risorsa chiave, ed è pertanto necessario evitare che singoli operatori siano gravati da percorsi eccessivamente lunghi o complessi. Dal punto di vista formale, il problema è modellato su un grafo diretto $G = (V, A)$, con V e A rispettivamente insieme dei nodi e degli archi. L'insieme dei nodi è definito come

$$V = \{0\} \cup D \cup \{C\},$$

dove il nodo 0 rappresenta il deposito, $D = \{1, \dots, n\}$ è l'insieme dei nodi di consegna e C è il checkpoint, unico, obbligatorio e prima tappa di tutti i veicoli. L'introduzione del checkpoint rappresenta una specificità del modello sviluppato, finalizzata a riflettere il vincolo organizzativo reale, rappresentato dal ritiro dei colli presso la farmacia ospedaliera Amedeo di Savoia. L'insieme dei veicoli è indicato con

$$K = \{1, \dots, m\},$$

dove il numero di veicoli m è fissato dall'utente attraverso l'interfaccia del software. A ciascun arco $(i, j) \in A$ è associato un costo w_{ij} , calcolato a partire dalla distanza chilometrica e dal tempo di percorrenza stimati sulla rete stradale reale. Tali informazioni sono ottenute interrogando un motore di routing esterno e successivamente normalizzate, così da definire una funzione di costo composita:

$$w_{ij} = 0.8 \cdot d_{ij}^{\text{norm}} + 0.2 \cdot t_{ij}^{\text{norm}}.$$

Dal momento che l'obiettivo principale è la riduzione dei chilometri percorsi, più che la minimizzazione dei tempi di percorrenza, questa formulazione della funzione obiettivo risulta efficace. L'approccio *min-max* consente di controllare non solo l'efficienza complessiva del sistema, ma anche l'equilibrio dei percorsi assegnati ai singoli veicoli, evitando soluzioni in cui la riduzione dei chilometri totali avvenga a discapito di una forte concentrazione del carico su un singolo operatore. Nel contesto di FARO ETS, la pianificazione anticipata delle consegne può considerare solo dei tempi nominali, essendo questi variabili in funzione degli orari e di diversi altri fattori.

Qualora i tempi di percorrenza fossero il principale criterio di ottimizzazione, il modello risulterebbe particolarmente sensibile a variazioni locali della rete stradale, come congestioni temporanee o limitazioni al traffico, introducendo instabilità nelle soluzioni. La distanza chilometrica, invece, rappresenta una metrica più strutturale, che riflette la conformazione geografica del territorio. Se l'obiettivo primario del servizio fosse la minimizzazione dei tempi di percorrenza, risulterebbe più appropriata una formulazione *min-max* basata esclusivamente sui tempi (o con peso maggiore sui tempi), oppure una di tipo *min-sum*, in cui si minimizza il tempo totale impiegato da tutti i veicoli. Nel presente modello, le decisioni di instradamento sono modellate attraverso variabili binarie

$$x_{ij}^k \in \{0,1\},$$

che assumono valore pari a 1 se e solo se il veicolo $k \in K$ percorre l'arco (i,j) . Il costo complessivo del percorso associato a ciascun veicolo è definito come

$$L_k = \sum_{(i,j) \in A} w_{ij} x_{ij}^k.$$

Per rappresentare l'obiettivo *min-max*, viene introdotta una variabile ausiliaria continua z , che rappresenta il costo massimo tra tutti i percorsi:

$$L_k \leq z \quad \forall k \in K.$$

La funzione obiettivo del problema è quindi definita come

$$\min z,$$

che corrisponde alla minimizzazione del costo del percorso più oneroso. I vincoli del modello includono, in primo luogo, quelli strutturali tipici dei problemi M-TSP: ogni veicolo deve partire dal deposito e farvi ritorno al termine del tour; ogni nodo di consegna deve essere visitato esattamente una volta da un solo veicolo; il numero totale di tour generati deve coincidere con il numero di veicoli disponibili. Indicando con 0 il nodo del deposito, si impone che per ogni veicolo $k \in K$ esista esattamente un arco in uscita dal deposito e un arco in ingresso al deposito:

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K,$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0}^k = 1 \quad \forall k \in K.$$

La condizione che ogni indirizzo di consegna debba essere visitato esattamente una sola volta da un solo veicolo è garantita imponendo che per ogni nodo $i \in D$ esista un solo arco entrante complessivo su tutti i veicoli:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in D.$$

Per garantire la continuità dei tour, per ogni veicolo $k \in K$ e per ogni nodo di consegna $i \in D$, il numero di archi entranti nel nodo deve coincidere con il numero di archi uscenti:

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^k = \sum_{j \in V} x_{ij}^k \quad \forall i \in D, \forall k \in K.$$

A tali vincoli si aggiunge un vincolo specifico del modello FARO, che impone che la *checkpoint* sia la prima tappa obbligatoria di ogni rotta successiva al deposito, formalizzabile come

$$\text{Next}(0, k) = C \quad \forall k \in K.$$

Un ulteriore elemento caratterizzante del modello è infine il vincolo di bilanciamento del carico. In particolare, si richiede che il numero di indirizzi di consegna assegnati a ciascuna rotta non presenti squilibri eccessivi, al fine di evitare situazioni in cui un veicolo risulti significativamente più carico, in termini di colli, o più scarico rispetto agli altri. Il vincolo impone che tutte le rotte abbiano un numero di consegne prossimo al valore medio, consentendo solo una deviazione limitata. Siano:

- K l'insieme dei veicoli (rotte);
- Q il numero totale di consegne;
- m il numero di veicoli;
- q_m il numero di consegne assegnate al veicolo $k \in K$.

Si definisce il valore medio (intero) del numero di consegne per veicolo come:

$$\bar{q} = \left\lfloor \frac{Q}{m} \right\rfloor$$

Viene quindi introdotto un parametro di tolleranza $s \geq 0$, denominato *slack*, che rappresenta lo scostamento massimo ammesso dalla media. Il vincolo di bilanciamento è modellato imponendo, per ogni veicolo $k \in K$, la seguente disuguaglianza:

$$\bar{q} - s \leq q_k \leq \bar{q} + s$$

Nel caso in cui $s = 1$, ogni rotta può avere al più una consegna in più o in meno rispetto alla media. Ne consegue che la differenza tra la rotta con il maggior numero di consegne e quella con il minor numero di consegne risulta limitata superiormente da:

$$\max_{k \in K}(q_k) - \min_{k \in K}(q_k) \leq 2$$

Il vincolo di bilanciamento del numero di consegne può però portare a un peggioramento della soluzione trovata. Ciò può accadere quando la distribuzione geografica delle consegne risulta fortemente asimmetrica o concentrata in specifiche aree, rendendo sconveniente assegnare a ciascun veicolo un numero di indirizzi compreso nell'intervallo ammesso. In particolare, è nei casi con due veicoli che il vincolo può diventare eccessivamente restrittivo: la suddivisione quasi forzata del carico tende a produrre assegnamenti geograficamente innaturali, con un conseguente peggioramento delle distanze percorse e dei tempi di servizio. Questo comportamento è riconducibile al fatto che, con un numero ridotto di veicoli, lo spazio delle soluzioni ammissibili è più limitato e il bilanciamento rigido del numero di consegne entra più facilmente in conflitto con la struttura geografica del problema e con i vincoli di routing. In tali circostanze, un vincolo di bilanciamento troppo rigido (ad esempio con valore di tolleranza $s = 1$) può restringere eccessivamente lo spazio delle soluzioni, impedendo al modello di individuare una configurazione compatibile con tutti i vincoli

imposti. Per questo, di default, è stato impostato uno *slack* pari a 2, consentendo uno scostamento del carico fino a quattro consegne. Tuttavia, per aumentare la robustezza del modello, il parametro di tolleranza s è reso configurabile tramite l'interfaccia utente: è possibile incrementare il valore dello *slack*, rilassando il vincolo di bilanciamento e consentendo una maggiore variabilità nel numero di consegne assegnate alle rotte. Questo approccio permette di mantenere un compromesso flessibile tra equità nella distribuzione del carico e fattibilità operativa della soluzione. Il modello garantisce quindi una distribuzione equa delle attività tra i volontari, con tour che risultano bilanciati sia in termini di distanza e tempo di percorrenza sia in termini di carico di lavoro, mantenendo un forte legame con le esigenze operative del servizio. Nel software sviluppato per FARO ETS, la formulazione del min-max M-TSP è implementata all'interno di un'infrastruttura software di base che integra la fase di *pre-processing* dei dati, la geocodifica automatica degli indirizzi e la risoluzione del problema di ottimizzazione mediante un *solver* combinatorio. L'integrazione con dati di percorrenza su rete stradale reale consente di mantenere un forte allineamento tra la formulazione teorica e il contesto operativo, rendendo il modello anche concretamente applicabile al servizio di consegna di farmaci a domicilio [45].

4.3 Implementazione

La soluzione progettata per il miglioramento del servizio e per la pianificazione delle rotte è stata implementata come un pacchetto operativo completo, pensato per essere installato e utilizzato da FARO ETS in modo semplice e controllato. In questa sezione vengono descritti l'architettura sviluppata, i risultati ottenuti con l'utilizzo di algoritmi risolutivi differenti e le riflessioni relative alla scelta intrapresa.

4.3.1 Architettura

L'implementazione si basa sull'integrazione di tre componenti principali: un'applicazione Python con interfaccia grafica sviluppata in Streamlit, un motore di routing su rete stradale reale basato su OSRM e un ambiente di esecuzione containerizzato tramite Docker. Tale architettura consente di isolare le componenti più complesse del sistema, garantendo al contempo affidabilità, ripetibilità dei risultati e facilità d'uso per l'operatore finale. Il sistema applicativo è organizzato all'interno di una cartella dedicata, che contiene il codice Python dell'applicazione, le dipendenze software e le directory di input e output dei dati. A seguire si raffigura la struttura del pacchetto operativo. Lo schema riassume la suddivisione delle componenti principali del sistema, distinguendo tra gli script di avvio/fine, il codice applicativo, i dati di routing su rete stradale reale e le directory dedicate alla gestione dei dati di input e output. Tale organizzazione consente di separare chiaramente le funzionalità operative dalle componenti tecniche, facilitando l'utilizzo del sistema e la sua eventuale manutenzione.

```
FARO-Routing/
|
|-- scripts
|   |--start.bat      -> doppio click per iniziare
|   |--stop.bat       -> doppio click per terminare
|
|-- README.pdf        -> istruzioni per l'operatore
|-- requirements.txt   -> requisiti e versioni delle librerie
|
|-- app/
|   |--APP.py         -> codice applicativo
|
|-- osrm-data/
|   |-- piemonte.osm.pbf
|   |-- osrm-backend files...
|
|-- data/
|   |-- input/        -> file Excel di input
|   |-- output/       -> file "Statistiche" di output
|
|-- venv/             -> ambiente Python
```

Il file "APP.py", in cui convivono frontend e backend matematico, è il gestore dell'applicazione Streamlit, che rappresenta il punto di accesso per l'utente FARO e svolge il ruolo di interfaccia grafica per la configurazione e l'esecuzione delle attività di pianificazione. Attraverso tale interfaccia, l'operatore può caricare i file Excel contenenti gli indirizzi di consegna, selezionare il numero di veicoli disponibili, verificare gli indirizzi del depot e del checkpoint, eventualmente modificare il vincolo di bilanciamento e avviare il processo di ottimizzazione senza interagire direttamente con il codice. Streamlit è stato scelto in quanto consente di realizzare interfacce leggere e facilmente distribuibili, mantenendo una stretta integrazione con il codice Python sottostante. Inoltre, l'adozione di Streamlit come framework per l'interfaccia utente semplifica l'integrazione con contenuti di natura web, come mappe e report in formato HTML e facilita la produzione di documentazione stampabile tramite browser. Lo script contenuto nel file non si occupa solo dell'interfaccia utente, ma anche della gestione dati – includendo il caricamento del file, la pulizia e l'estrazione degli indirizzi – del *geocoding* e del calcolo della matrice dei tempi e delle distanze tra tutti i punti. Infine, il lato backend implementa il solver per trovare la soluzione e generare le rotte. Per il calcolo delle distanze e dei tempi di viaggio tra i punti di consegna, il sistema utilizza OSRM (Open Source Routing Machine), un motore di routing open source che opera su dati cartografici OpenStreetMap. I dati geografici, relativi alla Regione di interesse, vengono preventivamente scaricati in formato `.osm.pbf` e preprocessati una sola volta per generare i file necessari al funzionamento del backend di OSRM. Questa fase di *pre-processing*, che richiede risorse computazionali significative, viene eseguita esclusivamente durante l'installazione iniziale e non è richiesta nelle successive esecuzioni operative. Per garantire un'installazione controllata e indipendente dal

sistema operativo, il backend di OSRM viene eseguito all'interno di un container Docker. L'utilizzo di Docker consente di isolare l'ambiente di esecuzione del motore di routing, evitando problemi di compatibilità e semplificando la gestione delle dipendenze. Una volta installato Docker sul computer di FARO, l'avvio e l'arresto del servizio OSRM avvengono tramite script automatizzati, che non richiedono interventi manuali da parte dell'operatore. In questo modo, la complessità tecnica associata alla configurazione del motore di routing viene confinata alla fase iniziale di setup. Come già accennato, l'applicazione Python gestisce una pipeline di pre-processing dei dati di input. I file Excel forniti da FARO, spesso caratterizzati da formati non standardizzati o informazioni mancanti, vengono automaticamente letti, validati e trasformati in un formato strutturato. Gli indirizzi vengono sottoposti a un processo di geocodifica, che associa a ciascun punto di consegna una coppia di coordinate geografiche. Per i punti di consegna la cui geocodifica fallisce, l'interfaccia consente la correzione manuale diretta dei relativi indirizzi, per i quali, successivamente, è possibile ripetere il processo di *geocoding*. Dal punto di vista operativo, è poi importante distinguere tra le attività di installazione iniziale e quelle di utilizzo quotidiano del sistema. L'installazione iniziale, da effettuarsi una sola volta sul computer di FARO, prevede l'installazione di Python, Docker e delle dipendenze software necessarie, nonché il download e il preprocessing dei dati cartografici utilizzati da OSRM. Una volta completata questa fase, l'intero sistema può essere avviato e arrestato in locale mediante semplici script di esecuzione, rendendo trasparente all'utente finale la complessità dell'infrastruttura sottostante, oppure, al fine di semplificare ulteriormente l'avvio, può essere installato su un server. L'utilizzo quotidiano del sistema da parte dell'operatore FARO è quindi estremamente semplificato. A ogni sessione di pianificazione, l'operatore deve esclusivamente avviare il sistema tramite un doppio click su uno script dedicato (o tramite collegamento alla porta del server), interagire con l'interfaccia Streamlit per impostare i parametri di pianificazione ed eseguire l'upload del file Excel, che sarà automaticamente salvato nella cartella in data/input. Tutte le fasi di elaborazione, dalla gestione dei dati alla risoluzione del problema di ottimizzazione, vengono eseguite automaticamente. Al termine del processo, i risultati vengono salvati in formato CSV nella cartella di output, dove vengono archiviati per eventuali analisi successive. Nel complesso, l'infrastruttura software descritta si configura come un pacchetto operativo mirato all'usabilità, in grado di introdurre strumenti di ottimizzazione e analisi avanzata in modo sostenibile, coerente con le risorse disponibili e facilmente replicabile in contesti analoghi.

4.3.2 Prove e risultati

A seguire si riportano alcuni esempi di ottimizzazione relativi alle giornate di consegna a cui si è direttamente assistito, al fine di confrontare lo scenario AS IS con il TO BE, quest'ultimo ottenuto utilizzando il pacchetto software sviluppato. Questi primi risultati sono stati ottenuti utilizzando un'euristica, la *Tabu Search*, come metodo risolutivo. Avendo risolto il modello per le consegne osservate durante lo *shadowing* (grazie al quale sono state raccolte informazioni aggiuntive circa la suddivisione del lavoro tra le squadre e i percorsi seguiti), è possibile anche visualizzare su mappe (figure 4.1 – 4.5) i cambiamenti apportati nell'assegnazione delle rotte e nel routing. Nelle tabelle di confronto AS IS vs TO BE – tab. 4.2 - 4.6 – i risultati vengono

sintetizzati tramite un insieme di metriche che permettono di valutare l'impatto dell'ottimizzazione su più dimensioni. A livello di singola rotta (squadra) vengono riportati distanza (km) e durata (min), utili a descrivere come cambia il carico operativo assegnato a ciascun veicolo dopo la fase congiunta di assegnazione delle consegne e routing. Accanto a queste misure puntuali, sono presenti tre indicatori aggregati giornalieri: il totale, dato dalla somma di distanze e tempi di tutte le rotte della giornata; il *makespan*, definito come il valore massimo tra le rotte (in km o in minuti), che misura la rotta più impegnativa e l'orario di completamento del servizio; il bilanciamento (range) che, calcolato come differenza tra il valore massimo e il minimo tra le rotte, quantifica quanto il carico sia equamente distribuito tra le squadre. Per ciascuna metrica viene infine riportata la riduzione percentuale rispetto allo scenario AS IS, così da rendere immediata la lettura del beneficio ottenuto. È importante notare che i tempi TO BE sono da intendersi come stime nominali (derivate dal modello/servizio di routing e da assunzioni semplificative) e quindi vanno interpretati con cautela. Ai fini di renderli confrontabili con le durate AS IS del servizio, ai tempi di trasporto su strada calcolati dal software tramite OpenStreetMap e OSRM, sono stati addizionati quelli di prelievo dei colli in magazzino, la cui media, calcolata sulle dieci osservazioni, è di circa 15 minuti, e di consegna al paziente, mediamente di 5 minuti a consegna. Tuttavia, nella pratica, le tempistiche possono variare per traffico, soste, variabilità operativa e tempi di servizio, mentre le distanze risultano generalmente più stabili e robuste.

11/11/2025

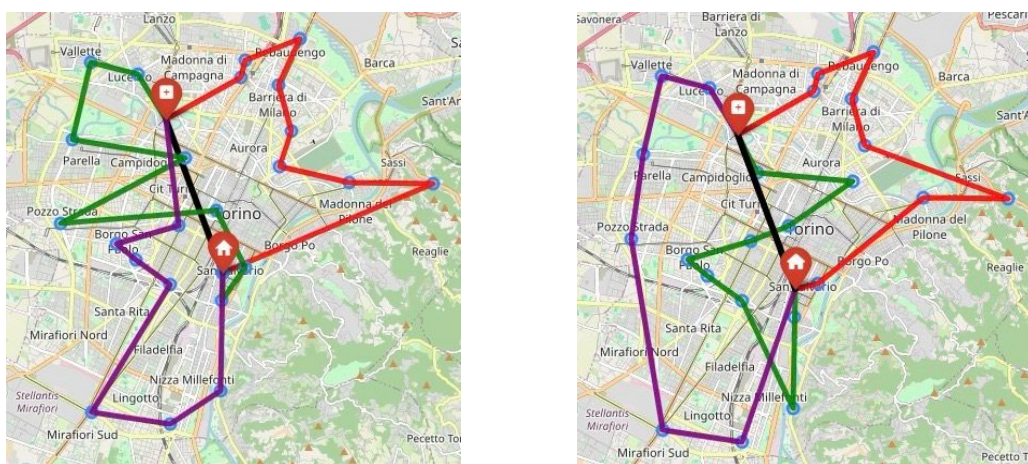


Figura 4.1: Confronto delle rotte dell'11/11: prima (sinistra) e dopo (destra)

	Distanza (Km)			Durata (min)		
	AS IS	TO BE	Rid. %	AS IS	TO BE	Rid. %
Rotta 1	35	26		185	111	
Rotta 2	37	29		167	95	
Rotta 3	31	29		157	105	
Totale	103	84	18%	509	311	39%
Makespan (max)	37	29	22%	185	111	40%
Bilanciamento (range)	6	3	50%	18	16	11%

Tabella 4.2: AS IS vs TO BE (giorno 11/11)

11/12/2025

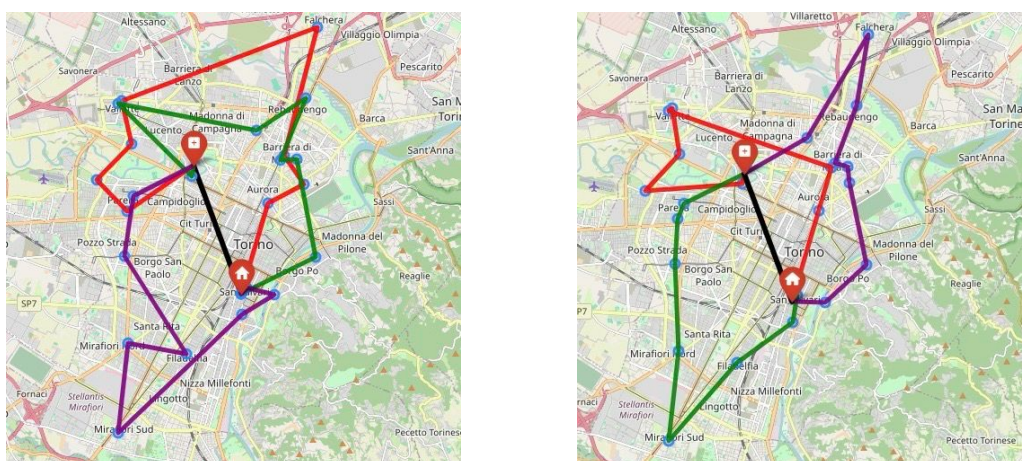


Figura 4.2: Confronto delle rotte dell'11/12: prima (sinistra) e dopo (destra)

	Distanza (km)			Durata (min)		
	AS IS	TO BE	Rid. %	AS IS	TO BE	Rid. %
Rotta 1	31	28		178	99	
Rotta 2	33	27		176	106	
Rotta 3	42	27		162	106	
Totale	106	82	23%	516	310	40%
Makespan (max)	42	28	33%	178	106	40%
Bilanciamento (range)	11	1	91%	16	7	56%

Tabella 4.3: AS IS vs TO BE (giorno 11/12).

8/01/2026

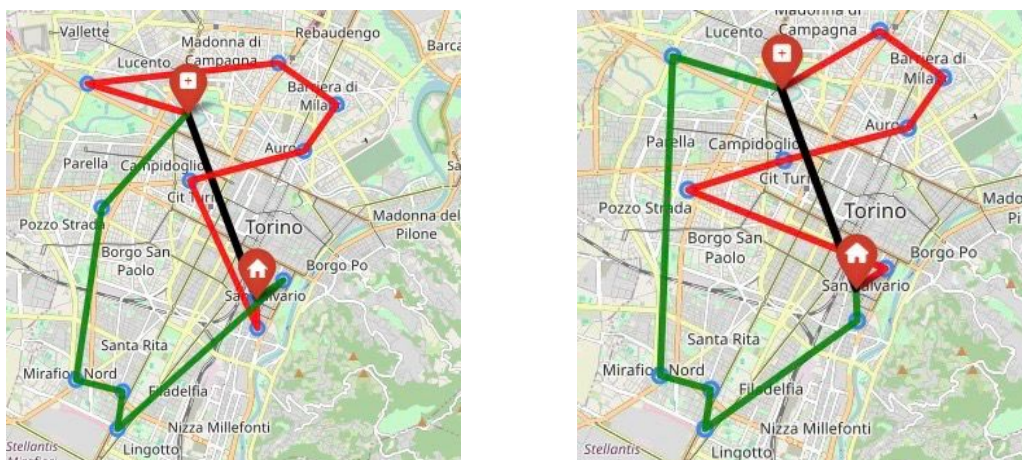


Figura 4.3: Confronto delle rotte dell'8/01: prima (sinistra) e dopo (destra)

	Distanza (km)			Durata (min)		
	AS IS	TO BE	Rid. %	AS IS	TO BE	Rid. %
Rotta 1	34	24		140	83	
Rotta 2	29	23		130	88	
Totale	63	47	25%	270	171	37%
Makespan (max)	34	24	29%	140	88	37%
Bilanciamento (range)	5	1	80%	10	5	50%

Tabella 4.4: AS IS vs TO BE (giorno 8/01).

15/01/2026

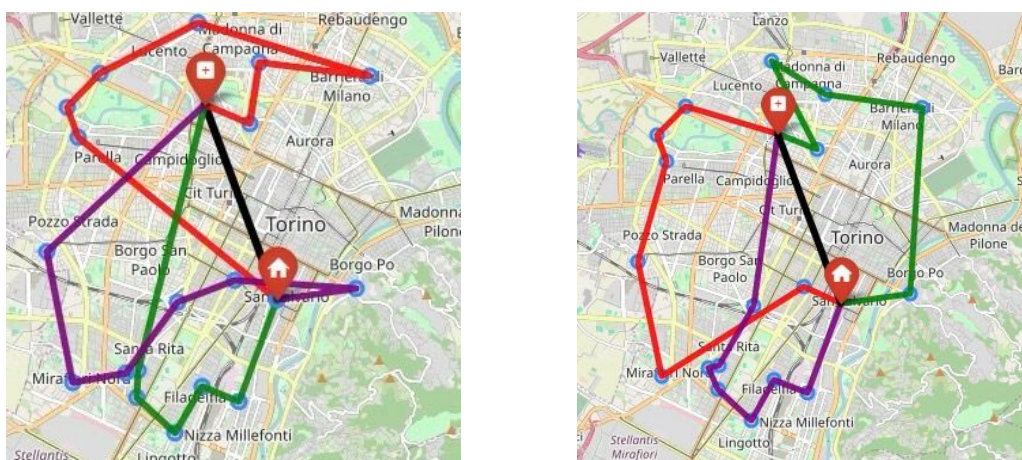


Figura 4.4: Confronto delle rotte del 15/01: prima (sinistra) e dopo (destra).

	Distanza (km)			Durata (min)		
	AS IS	TO BE	Rid. %	AS IS	TO BE	Rid. %
Rotta 1	23	24		102	82	
Rotta 2	34	23		165	94	
Rotta 3	29	24		140	88	
Totale	86	71	17%	407	264	35%
Makespan (max)	34	24	29%	165	94	43%
Bilanciamento (range)	11	1	90%	63	12	81%

Tabella 4.5: AS IS vs TO BE (giorno 15/01).

27/01/2026

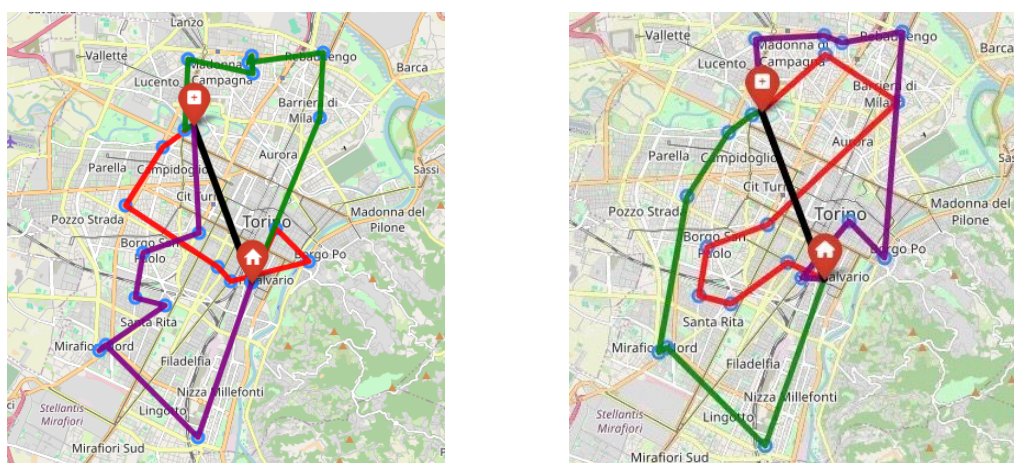


Figura 4.5: Confronto delle rotte del 27/01: prima (sinistra) e dopo (destra).

	Distanza (km)			Durata (min)		
	AS IS	TO BE	Rid. %	AS IS	TO BE	Rid. %
Rotta 1	24	24		155	87	
Rotta 2	29	23		155	95	
Rotta 3	23	24		143	94	
Totale	76	71	7%	453	276	39%
Makespan (max)	29	24	17%	155	95	39%
Bilanciamento (range)	6	1	83%	12	8	33%

Tabella 4.6: AS IS vs TO BE (giorno 27/01).

Dalle tabelle si nota un miglioramento medio, in termini di distanze, che si attesta intorno al 18%, mentre è molto più significativa la percentuale media di riduzione del *makespan*, cioè del percorso più lungo, del 26%, e del range, del 79%. Questi risultati dipendono dal fatto che il min-max M-TSP ha come obiettivo primario la minimizzazione del *makespan* e il bilanciamento della lunghezza delle rotte. Solo a parità di *makespan*, l'obiettivo secondario porta il modello a prediligere la soluzione avente la somma di tutti i costi minore. Da considerare è poi il vincolo di bilanciamento del numero di consegne tra le squadre. Dato uno slack di 2 e, ad esempio, 30 consegne per 3 squadre, a ciascuna potrà essere assegnato un numero di indirizzi compreso tra 8 e 12. L'algoritmo risolutivo prevede la costruzione di una soluzione iniziale nel rispetto di questo range 8-12. Successivamente, l'euristica prova a migliorare questa soluzione iniziale, ad esempio valutando se lo spostamento di una consegna X dalla rotta n a quella $n + 1$ possa ridurre o meno il *makespan*. Tuttavia, se il veicolo $n + 1$ dovesse già prevedere 12 indirizzi, la consegna X non potrà essere trasferita, generando rotte non del tutto equilibrate geograficamente. A parità di questo vincolo sullo scostamento massimo del numero di consegne per squadra, è stato operato un confronto tra il presente modello e un min-sum M-TSP. Mentre il *min-max* predilige l'equità delle rotte, anche a costo di un totale leggermente più alto, il *min-sum* ha come unico obiettivo la minimizzazione del costo totale dei percorsi.

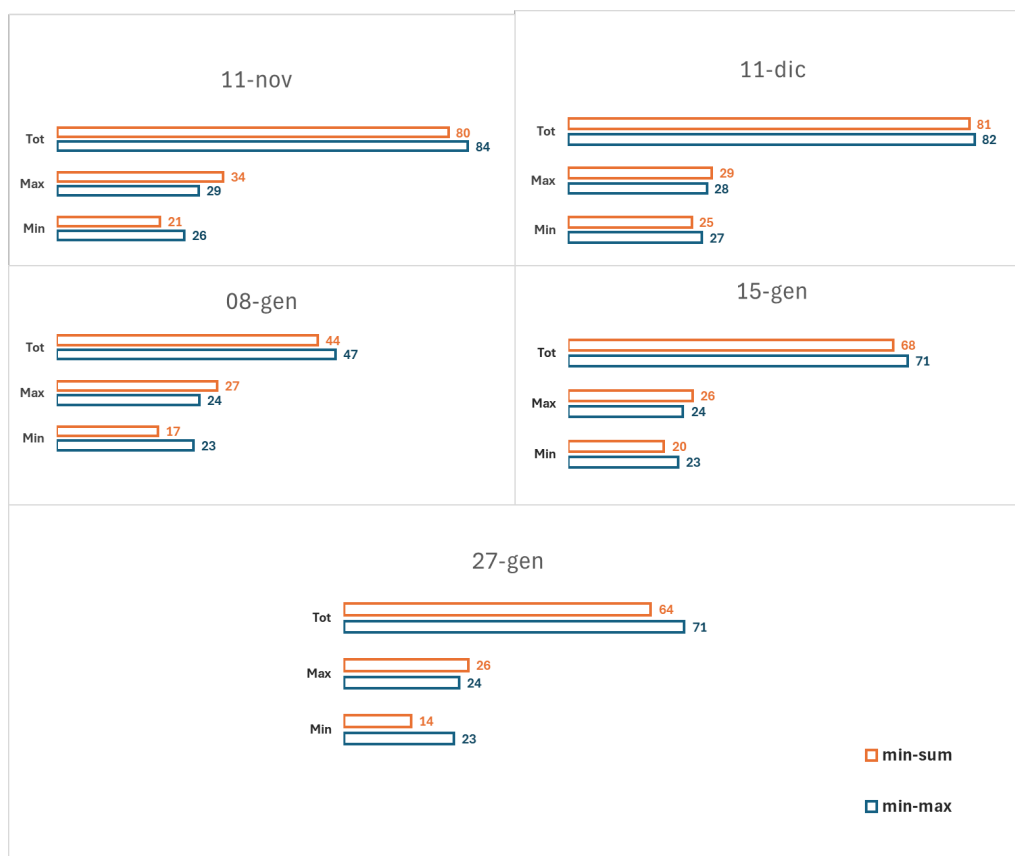


Figura 4.6: Confronto sulle distanze totali, massime e minime (in km) tra min-max M-TSP e min-sum M-TSP

Passando da una logica di tipo min-max ad una di tipo min-sum il risparmio

medio sul totale dei chilometri giornalieri percorsi è di circa il 5%, a fronte però di un peggioramento medio del 10% in termini di *makespan* e del 627% in termini di range (bilanciamento chilometrico tra le squadre). Questi risultati giustificano ulteriormente la scelta di utilizzare un min-max M-TSP, oltre alle esigenze emerse riguardanti la necessità di garantire equità nel lavoro svolto dalle diverse squadre di volontari.

4.3.3 Benchmark

Nei problemi di ottimizzazione combinatoria, come il TSP, la ricerca della soluzione ottima tramite metodi esatti diventa computazionalmente proibitiva all'aumentare della soluzione del problema. Nella formulazione decisionale, "esiste una soluzione con costo minore o uguale a z ?", il problema ricade in *NP-complete*, cioè appartiene alla classe NP dei problemi la cui soluzione è verificabile in tempo polinomiale e che sono almeno complessi quanto tutti gli altri problemi in NP. Nella versione di ottimizzazione, invece, in cui si minimizza la funzione obiettivo, il problema ricade nella classe degli *NP-hard*. Questi non soltanto sono difficili da risolvere, ma potrebbero anche essere difficili da verificare in tempo polinomiale. Per questo, in alternativa ai metodi esatti, si ricorre a euristiche, che consentono di raggiungere soluzioni di buona qualità in tempi computazionalmente accettabili. Gli esempi mostrati precedentemente (fig. 4.1 – 4.6) mostrano i risultati ottenuti con algoritmi risolutivi non esatti. In entrambi i casi (sia per il *min-max* sia per il *min-sum*) si trattava di meta-euristiche del tipo *Tabu Search*, le quali implementano una logica iterativa di miglioramento locale. L'algoritmo parte da una soluzione iniziale ammissibile e successivamente esplora il vicinato della soluzione corrente attraverso piccole modifiche strutturali, quali lo scambio di nodi tra rotte (swap) o la riallocazione di un cliente da un veicolo a un altro (relocate). Dopo ogni mossa, viene ricalcolato il valore della funzione obiettivo, che nel caso *min-max* corrisponde alla lunghezza della rotta più lunga. La *Tabu List* viene aggiornata per impedire la ripetizione ciclica delle mosse recenti, e il processo iterativo prosegue fino al raggiungimento di un criterio di arresto, rappresentato, nel caso del software, dal *time limit* di tre minuti. La *Tabu Search*, basandosi su un'esplorazione locale limitata, risente fortemente della soluzione iniziale e della struttura del vicinato implementato. L'algoritmo può stabilizzarsi in configurazioni quasi bilanciate, nelle quali la riduzione ulteriore della rotta dominante richiederebbe una ristrutturazione più profonda dell'assegnazione complessiva. Per questo motivo, l'approccio tende a individuare un ottimo locale del problema, che può risultare soddisfacente ma non necessariamente prossimo all'ottimo globale. Nel caso specifico della funzione *min-max*, questo meccanismo presenta alcune criticità poiché l'obiettivo dipende esclusivamente dalla rotta con valore massimo e anche una singola assegnazione inefficiente può determinare un incremento significativo del *makespan*. Nel caso dell'utilizzo di OR-Tools per la risoluzione del problema, l'algoritmo opera invece all'interno di un framework significativamente più articolato rispetto a una semplice ricerca locale iterativa. OR-Tools (Operations Research Tools) è una libreria software open source per l'ottimizzazione combinatoria, sviluppata da Google e progettata per risolvere problemi complessi di pianificazione, routing, allocazione e schedulazione tramite algoritmi avanzati di ricerca operativa. In primo luogo, il motore di *Constraint Programming* applica

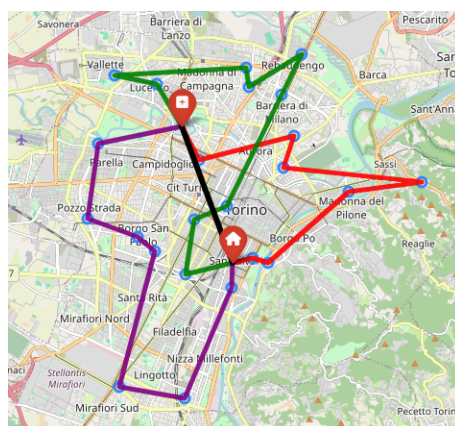
meccanismi di propagazione dei vincoli che consentono di escludere a priori numerose configurazioni non promettenti. Ciò riduce lo spazio delle soluzioni effettivamente esplorato e concentra la ricerca su assegnazioni coerenti con i vincoli del problema. In secondo luogo, OR-Tools dispone di un insieme ampio e diversificato di operatori di vicinato: oltre alle semplici operazioni di scambio o riallocazione di nodi, vengono utilizzati operatori più complessi, quali scambi incrociati tra rotte (cross-exchange), inversioni di sottosequenze (2-opt intra- e inter-rotta) e riallocazioni multiple. Questi operatori permettono modifiche strutturali profonde delle rotte, rendendo possibile una riorganizzazione sostanziale dell'assegnazione dei clienti ai veicoli, aspetto particolarmente rilevante nei problemi *min-max* in cui la riduzione del percorso dominante può richiedere interventi globali e non semplicemente locali. Infine, la *Guided Local Search* introduce un meccanismo di penalizzazione dinamica delle componenti della soluzione che contribuiscono in modo significativo al valore della funzione obiettivo. Nel contesto *min-max*, gli archi che determinano l'allungamento della rotta più lunga vengono progressivamente penalizzati, aumentando artificialmente il loro costo nella funzione obiettivo modificata. Questo induce il solver a esplorare configurazioni alternative, favorendo una diversificazione controllata della ricerca e riducendo la probabilità di permanenza in minimi locali. OR-Tools permette quindi di esplorare regioni dello spazio delle soluzioni significativamente più ampie e strutturalmente differenti rispetto a una meta-euristica locale isolata, risultando particolarmente efficace nella riduzione del makespan. Le differenze tra i due approcci per la risoluzione del problema sono elencate in tabella 4.7.

Aspetto	Tabu Search Custom	OR-Tools
Esplorazione dello spazio	Locale	Ampia e strutturata
Rischio di minimi locali	Elevato	Ridotto
Sensibilità all'inizializzazione	Alta	Media
Stabilità dei risultati	Media	Alta
Qualità soluzione Min-Max	Buona	Molto elevata
Tempi di calcolo	Ridotti	Maggiori
Scalabilità su istanze complesse	Limitata	Elevata

Tabella 4.7: Confronto tra Tabu Search e OR-Tools

Successivamente, si presentano i risultati ottenuti (fig. 4.7 - 4.11) utilizzando OR-Tools per la pianificazione delle cinque giornate di servizio analizzate nella sezione 4.2.3. La maggiore complessità del *framework* richiede tempi di calcolo maggiori. A tale scopo, la stessa logica risolutiva è stata replicata impostando il software con due *time limit* differenti, prima di cinque e poi di trenta minuti. In entrambi i casi sono stati ottenuti risultati equivalenti, a evidenza di una buona stabilità delle soluzioni.

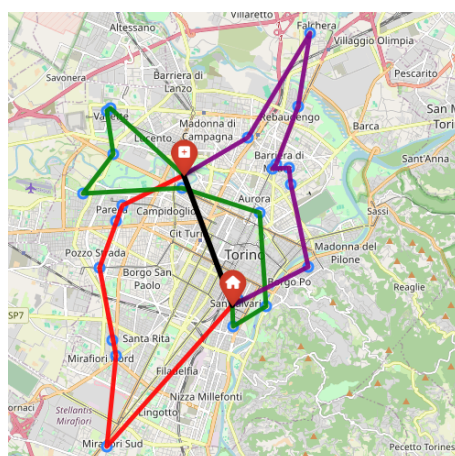
11/11/2025



	Rotta 1	Rotta 2	Rotta 3	Tot
N° consegne	7	9	7	23
Distanza [km]	26	28	28	82
Tempo [min]	96	111	100	307

Figura 4.7: Rotte generate con la meta-euristica GLS – 11/11

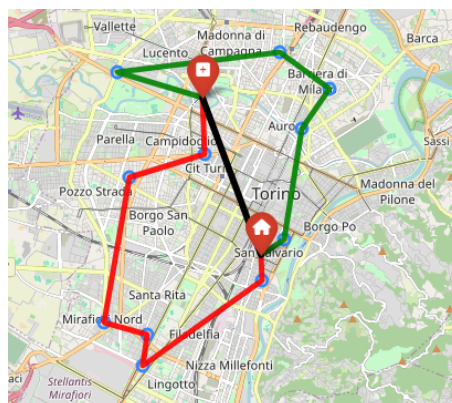
11/12/2025



	Rotta 1	Rotta 2	Rotta 3	Tot
N° consegne	7	8	8	23
Distanza [km]	27	27	26	80
Tempo [min]	100	105	104	309

Figura 4.8: Rotte generate con la meta-euristica GLS – 11/12

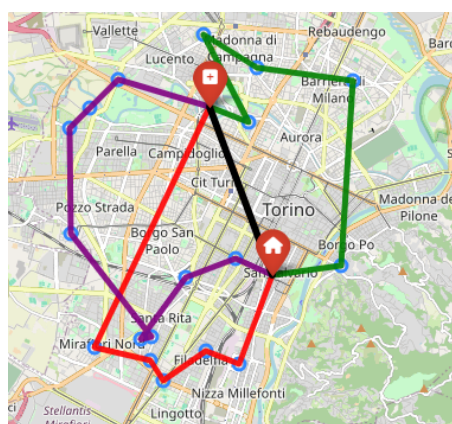
8/01/2026



	Rotta 1	Rotta 2	Tot
N° consegne	5	6	11
Distanza [km]	23	22	45
Tempo [min]	79	87	166

Figura 4.9: Rotte generate con la meta-euristica GLS – 8/01

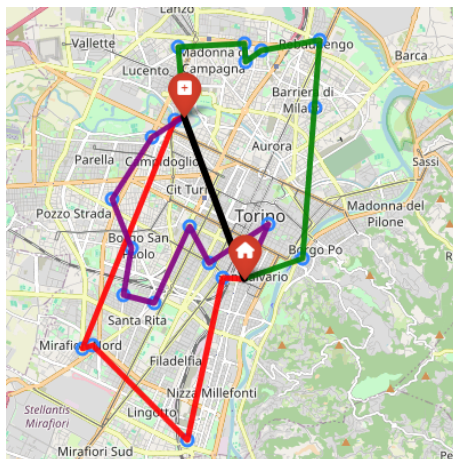
15/01/2026



	Rotta 1	Rotta 2	Rotta 3	Tot
N° consegne	5	5	8	18
Distanza [km]	23	24	24	71
Tempo [min]	84	82	99	265

Figura 4.10: Rotte generate con la meta-euristica GLS – 15/01

27/01/2026



	Rotta 1	Rotta 2	Rotta 3	Tot
N° consegne	5	7	8	18
Distanza [km]	23	22	22	67
Tempo [min]	81	92	98	271

Figura 4.11: Rotte generate con la meta-euristica GLS – 27/01

4.3.4 Soluzione sviluppata

Alla luce dei risultati ottenuti con l'utilizzo di OR-Tools, si può concludere che un *time limit* di cinque minuti produca risultati soddisfacenti e non rappresenti una criticità nel contesto applicativo considerato. Il servizio analizzato prevede infatti un volume giornaliero compreso tra le dieci e le trenta consegne, dimensione per la quale questo limite temporale risulta compatibile. Trattandosi di una pianificazione effettuata su base giornaliera e non in *real-time*, il maggior tempo computazionale richiesto dal solver rappresenta un *trade-off* accettabile, in quanto consente un'esplorazione più approfondita dello spazio delle soluzioni, migliorando la qualità del bilanciamento *min-max* senza incidere sull'organizzazione del servizio. All'interno dell'architettura descritta precedentemente, è stato quindi sviluppato il file "APP.py" definitivo, interamente riportato in Appendice. Lo script è stato suddiviso in dieci sezioni, che raccontano l'architettura interna del codice senza però necessariamente corrispondere all'ordine di esecuzione a *runtime*. Pertanto, la pipeline software risulta più efficacemente descritta tramite le successive cinque sezioni, riportate in figura 4.12, effettivamente corrispondenti all'ordine di esecuzione e al flusso reale dei dati.

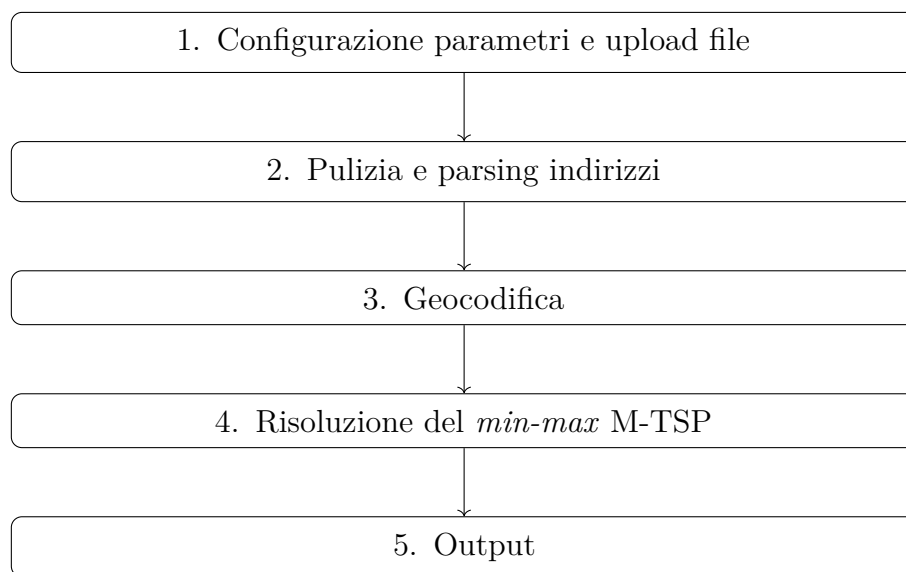


Figura 4.12: Pipeline software

Il flusso end-to-end raffigurato elabora i dati grezzi contenuti nel foglio Excel e li traduce in un piano di consegna ottimizzato e pronto per essere utilizzato a supporto delle successive attività esecutive svolte dai volontari di FARO.

Capitolo 5

Risultati

In questo capitolo vengono presentati i risultati ottenuti a fronte della decisione di consegnare alla Fondazione la cartella applicativa che risolve il problema min-max M-TSP implementando OR-Tools. Il software è stato prima verificato e validato, testandolo su cinque giornate di consegna – per confrontare le sue previsioni con le prestazioni effettivamente ottenute a fine servizio in termini di distanze percorse e tempi, seguendo la programmazione suggerita – e analizzandone le funzionalità specifiche e le matrici OSRM. Successivamente, è stata confrontata la pianificazione TO BE, generata dal software, con quella AS IS, per tutte le giornate di servizio comprese tra ottobre 2025 e gennaio 2026. Il confronto è stato effettuato in termini di distanze, tempi e costi, allo scopo di mostrare i miglioramenti potenzialmente apportabili dall’impiego sistematico del software nel servizio.

5.1 Validazione

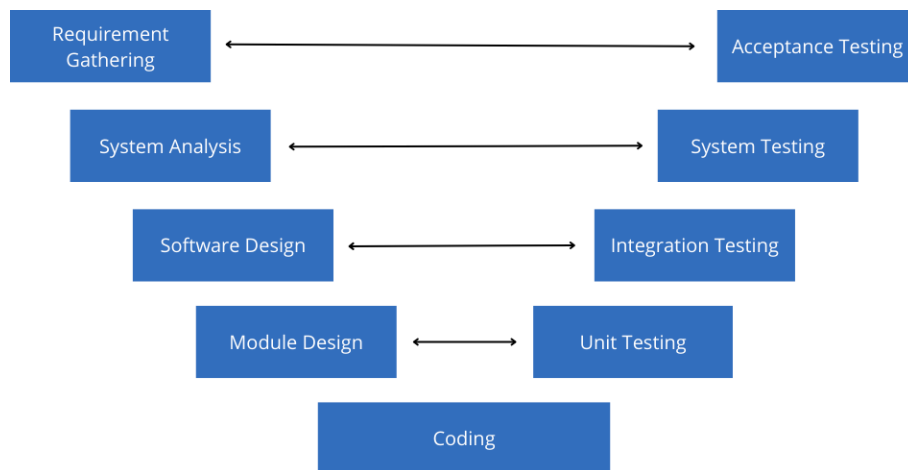


Figura 5.1: V-model

La verifica e validazione di software sono spesso sviluppate secondo l’approccio V-Model che, riportato in figura 5.1, mette in corrispondenza le fasi di definizione e sviluppo del progetto (a sinistra) con le attività di test e le procedure di garanzia

della qualità (a destra). Nei due capitoli precedenti sono state raccolte e sviluppate le componenti del lato sinistro: sono stati formalizzati i requisiti funzionali e non funzionali, è stata condotta l'analisi del servizio e dei vincoli operativi e sono state definite le scelte di progettazione, riportando l'architettura complessiva del prodotto e le sezioni rappresentative della pipeline. Sul lato destro troviamo un insieme coordinato di test: lo *unit test* si basa su istanze controllate volte a verificare funzionalità specifiche e puntuali; l'*integration test* end-to-end della pipeline permette di verificare se le singole componenti del sistema concorrono a generare i risultati attesi, interagendo come progettato; il *system test* testa il sistema nel suo complesso, verificando il rispetto dei requisiti generali; infine, l'*acceptance/field validation* serve a validare il prodotto secondo i criteri di accettazione e la coerenza tra il piano generato dal software e lo svolgimento effettivo del servizio quando il percorso proposto viene adottato operativamente.

5.1.1 Unit Testing

Questo primo livello di test si concentra su una piccola parte isolabile di codice, al fine di verificare che l'unità logica funzioni correttamente in isolamento.

UT1

Il primo *unit test* riguarda la prima sezione in cui è stata suddivisa la pipeline. L'obiettivo è verificare che l'operatore possa: (i) impostare correttamente i parametri di pianificazione tramite l'interfaccia e (ii) caricare un file Excel. A tal fine, è stato predisposto un file Excel di prova (*test.xlsx*) contenente un insieme di indirizzi selezionati casualmente. Il contenuto del file, utilizzato come input del test, include un set ridotto di cinque consegne ed è riportato in tabella 5.1.

Mario Rossi Via Montebello 20 tel 3425563728
Mario Rossi Corso Duca degli Abruzzi 24 3 piano cel 3425563728
Mario Antonio Rossi Via Nizza 280 3425563728
Mario Rossi Piazza Castello 191 TO cell 3425563728
Rossi Mario Corso Sebastopoli 123 chiamare 3425563728

Tabella 5.1: Righe del file Excel (*test.xlsx*) in input a UT1

Output verificato in figura 5.2:

- visualizzazione dei parametri selezionabili tramite interfaccia;
- caricamento del file.

Numero veicoli

2

1

2

3

Min-Max (equità - minimizza rotta più lunga)

Min-Sum (efficienza - minimizza totale km)

Peso km

0.80

Deposito e Checkpoint

Inserisco coordinate (lat/lon) invece di indirizzo

Deposito - Indirizzo

Via Oddino Morgari 12, Torino

Checkpoint - Indirizzo

Corso Svizzera 164, Torino

Input consegne (Excel)

Carica Excel (.xlsx)

Drag and drop file here
Limit 200MB per file • XLSX

Browse files

test.xlsx 8.8KB

Figura 5.2: Configurazione dei parametri e upload del file

UT2

Il successivo test riguarda il *parsing* e la pulizia degli indirizzi. L'obiettivo è verificare che il sistema sia in grado di estrarre l'indirizzo corretto dalla stringa testuale grezza contenuta in ciascuna cella dell'Excel.

Input consegne (Excel)

Carica Excel (.xlsx)

Drag and drop file here
Limit 200MB per file • XLSX

Browse files

test.xlsx 8.8KB

Pulizia (preview)

	raw	name	address
0	Mario Rossi Via Montebello 20 tel 3425563728	Mario Rossi	Via Montebello 20, Torino
1	Maio Rossi Corso Duca degli Abruzzi 24 3 piano cel 3425563728	Maio Rossi	Corso Duca degli Abruzzi 24 3, Torino
2	Mario Antonio Rossi Via Nizza 280 3425563728	Mario Antonio Rossi	Via Nizza 280, Torino
3	Mario Rossi Piazza Castello 191 TO cell 3425563728	Mario Rossi	Piazza Castello 191 Torino
4	Rossi Mario Corso Sebastopoli, 123 chiamare 3425563728	Rossi Mario	Corso Sebastopoli, 123, Torino

Geocoding completato: 5 consegne

Figura 5.3: Preview e pulizia degli indirizzi

L'esito è mostrato in figura 5.3: gli indirizzi vengono correttamente estratti e riconosciuti. Risulta però un'eccezione alla riga 1 del file Excel: l'indirizzo restituito contiene erratamente anche il numero relativo al piano dell'edificio. La verifica della successiva fase di geocodifica servirà a valutare se eccezioni di questo tipo comportano problemi per l'efficacia della soluzione (mancata geocodifica o assegnazione errata delle coordinate geografiche).

UT3

Il test relativo al *geocoding* ha l'obiettivo di verificare che gli indirizzi vengano trasformati correttamente in coordinate geografiche. A tal fine, per ciascun indirizzo del file di prova, sono state definite delle coordinate di riferimento (latitudine e longitudine) ricavate da una fonte esterna online, utilizzate come baseline per il confronto con i risultati prodotti dal sistema.

Indirizzo	Lat	Long
Via Montebello 20	45,06905	7,69302
Corso Duca degli Abruzzi 24	45,06266	7,66191
Via Nizza 280	45,03078	7,66634
Piazza Castello 191	45,07165	7,68635
Corso Sebastopoli 123	45,04255	7,65139

Tabella 5.2: Coordinate ottenute online relative agli indirizzi di prova

Geocoding completato: 5 consegne

Editor Completo Indirizzi

Come correggere indirizzi:

- Per ri-geocodificare: Modifica "Indirizzo completo (raw)" O "Indirizzo estratto" e clicca " Ri-geocodifica"
- Per coordinate manuali: Modifica direttamente lat/lon (es. da Google Maps) e clicca " Conferma"

Nome	Indirizzo completo (raw)	Originale (Excel)	Indirizzo estratto	Latitudine	Longitudine
Mario Rossi	Mario Rossi Via Montebello 20 tel 3425563728	Mario Rossi Via	Via Montebello 20, Torino	45.069382	7.693169
Maio Rossi	Maio Rossi Corso Duca degli Abruzzi 24 3 piano cel 3425563728	Maio Rossi Cor	Corso Duca degli Abruzzi 24 3, Torino	45.056669	7.658351
Mario Antonio Rossi	Mario Antonio Rossi Via Nizza 280 3425563728	Mario Antonio	Via Nizza 280, Torino	45.030515	7.666575
Mario Rossi	Mario Rossi Piazza Castello 191 TO cell 3425563728	Mario Rossi Pia	Piazza Castello 191 Torino	45.071397	7.687691
Rossi Mario	Rossi Mario Corso Sebastopoli, 123 chiamare 3425563728	Rossi Mario Co	Corso Sebastopoli, 123, Torino	45.042275	7.651087

Figura 5.4: Geocodifica completa e editor degli indirizzi

Output verificato in figura 5.4:

- esito del *geocoding* (completamento e numero di consegne geocodificate);
- assegnazione delle coordinate agli indirizzi;
- creazione di un editor completo che permette la modifica, l'eliminazione e/o l'aggiunta di indirizzi.

Il problema emerso nello *unit test* precedente, relativo alla riga 1 del file Excel, non compromette il *geocoding*: le coordinate restituite risultano corrette, in quanto viene interpretato correttamente il civico 24 (e non 243). Inoltre, la differenza osservabile tra le coordinate di riferimento ricavate online e quelle prodotte dal software riguarda gli ultimi tre decimali. Tale scostamento è attribuibile alle differenze tra i database e ai metodi di geocodifica utilizzati (Nominatim rispetto a Google Maps), che si basano

su fonti cartografiche e algoritmi differenti. Tuttavia, la deviazione è, in questo caso, dell'ordine di pochi metri, dunque trascurabile ai fini del routing su strada. In alcune situazioni lo scostamento può risultare più marcato a causa della funzione *osrm_snap_to_road*, che proietta la coordinata geocodificata sulla rete stradale, spostandola dal centroide dell'edificio al punto più vicino percorribile in auto. Nel caso in cui una cella contenga un indirizzo non valido o incompleto e la geocodifica fallisca, il sistema segnala all'utente la riga problematica e ne consente la modifica, permettendo di ritentare la procedura. La figura 5.5 mostra il comportamento del sistema in risposta a tale eventualità.

Geocodifica (Nominatim) e usa come consegne

Geocoding in corso... (1 richiesta/sec circa)

⚠ Non geocodificati: 2

Correggi SOLO la colonna **raw** (nome + indirizzo + note). Poi premi **Riprova**.

↳ Indirizzo da correggere	Originale Excel
Maio Rossi Coro Duca degli Abruzzi 24 3 piano cel 3425563728	Maio Rossi Coro Duca degli Abruzzi 24 3 piano cel 3425563728
Mario Antonio Rossi Via Nizz 280 3425563728	Mario Antonio Rossi Via Nizz 280 3425563728

Riprova geocoding falliti

Prima completa la **Geocodifica**, poi comparirà **Calcola rotte**.

Figura 5.5: Geocodifica fallita e risposta del sistema

UT4

Il test relativo al modulo risolutivo del problema min-max M-TSP ha l'obiettivo di verificare che la soluzione generata sia coerente con i parametri impostati dall'utente e con i vincoli del modello. Impostando 2 veicoli tramite interfaccia e avviando il calcolo mediante il comando *Calcola Rotte*, sono stati ottenuti i risultati riportati nelle figure 5.6 e 5.7. L'output prodotto consente di verificare che:

- le statistiche vengano correttamente calcolate e salvate automaticamente nella directory `data/output`;
- il bilanciamento del numero di consegne tra i veicoli risulti rispettato, coerentemente con l'impostazione di equità (*slack*) prevista;
- il numero di rotte generate corrisponda al numero di veicoli configurati da interfaccia;
- per ciascun veicolo la sequenza delle tappe rispetti la struttura *deposito* → *checkpoint* → *consegne* → *deposito*;
- ciascuna consegna compaia una sola volta e sia assegnata a una sola rotta.

Statistiche percorsi

	veicolo	km	minuti_guida	n_consegne	minuti_extra	minuti_totali
0	1	20.2813	37.1367	2	25	62.1367
1	2	19.4677	39.3583	3	30	69.3583
2	TOTALE	39.749	76.495	5	55	131.495

Totale km (tutti i veicoli)

39.75 km

Totale tempo (guida + extra)

131.5 min

Statistiche salvate in: C:\FARO-Routing\data\output\stats_2026-02-19_184909.csv

Figura 5.6: Statistiche generate e salvataggio automatico

Rotte per veicolo:

Veicolo 1

step	tipo	raw
0	1 DEPOT	Deposito
1	2 CHECKPOINT	Checkpoint (obbligatorio)
2	3 DELIVERY	Maio Rossi Coro Duca degli Abruzzi 24 3 piano cel 3425563728
3	4 DELIVERY	Rossi Mario Corso Sebastopoli, 123 chiamare 3425563728
4	5 DELIVERY	Mario Antonio Rossi Via Nizz 280 3425563728
5	6 DEPOT	Deposito

Scarica stampa – Veicolo 1 (HTML)

(a) Rotta 1

Veicolo 2

step	tipo	raw
0	1 DEPOT	Deposito
1	2 CHECKPOINT	Checkpoint (obbligatorio)
2	3 DELIVERY	Mario Rossi Via Montebello 20 tel 3425563728
3	4 DELIVERY	Mario Rossi Piazza Castello 191 TO cell 3425563728
4	5 DEPOT	Deposito

Scarica stampa – Veicolo 2 (HTML)

(b) Rotta 2

Figura 5.7: Rotte per veicolo generate dal software

UT5

L'ultimo modulo della pipeline riguarda la generazione e la visualizzazione degli output utili a supportare le attività dei volontari. In questa fase è necessario verificare il corretto funzionamento dei contenuti in formato *HTML* prodotti dal

sistema, assicurando che vengano renderizzati correttamente nell'interfaccia e che risultino fruibili e coerenti con le rotte calcolate.

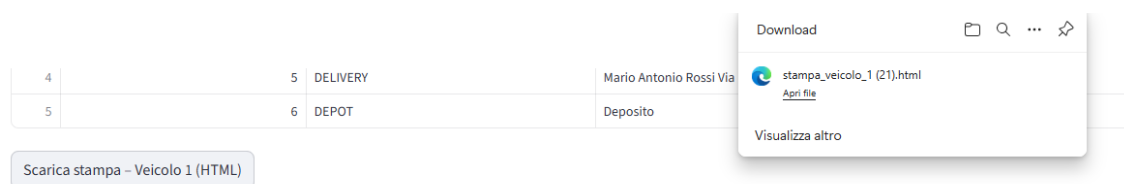


Figura 5.8: Stampa delle rotte

Link Google Maps (per i volontari)

I link qui sotto portano direttamente alla navigazione passo-passo sul tuo telefono. Scansiona il QR code o clicca sul pulsante.

Veicolo 1

Parte 1

 Apri Google Maps (Veicolo 1)



QR Veicolo 1

Figura 5.9: Link/QR code dei percorsi

Output verificato (fig. 5.8 e 5.9): i risultati – fogli delle rotte per veicolo e itinerari Google Maps – sono visualizzabili ed esportabili secondo modalità differenti (salvataggio, stampa, condivisione link/QR code).

5.1.2 Integration e System Testing

L'*integration test* verifica che i singoli moduli, già testati separatamente, comunichino correttamente tra loro, controllando in particolare la coerenza delle interfacce, il passaggio dei parametri, l'invocazione delle API e, più in generale, il funzionamento coordinato dell'intera pipeline. Il *system test*, invece, valuta il software nel suo complesso come un'unica *black box*, con l'obiettivo di accertare il rispetto dei requisiti e dei criteri di accettazione definiti in fase di analisi. Nel presente lavoro tali attività non sono state strutturate come casi di test formali e riportate in forma di test suite dedicata. Tuttavia, una verifica end-to-end dell'applicazione è stata condotta attraverso l'esecuzione completa del software su tutte le giornate di consegna del periodo ottobre 2025–gennaio 2026, nell'ambito del confronto AS IS – TO BE (Sezione 5.2). Inoltre, il sistema è stato impiegato anche a livello operativo come supporto alla pianificazione, mettendo a disposizione dei volontari gli output delle rotte e i link di navigazione: ciò costituisce un'evidenza di funzionamento integrato e di aderenza alle esigenze d'uso reali.

5.1.3 Field Validation

La field validation è stata condotta con l'obiettivo di valutare la coerenza tra i piani di consegna generati dal software e l'esecuzione effettiva del servizio quando le rotte proposte vengono adottate operativamente. L'analisi è stata svolta su un campione di cinque giornate di servizio, selezionate in modo da rappresentare condizioni operative ordinarie e garantire l'osservabilità dei principali output (ordine tappe, percorrenze e tempi di guida stimati). Per ciascuna giornata sono stati raccolti gli indicatori previsti dal *tool* (distanze (km) e tempi (minuti) stimati per veicolo/rotta) e i corrispondenti valori osservati durante l'esecuzione, registrati a consuntivo, relativi al veicolo che è stato direttamente seguito (per accertare l'aderenza al percorso pianificato). Eventuali deviazioni rispetto al piano (ad es. soste, difficoltà di parcheggio, piccole variazioni di percorso o altre contingenze operative) sono state considerate qualitativamente per supportare l'interpretazione degli scostamenti. I risultati, in tabella 5.3, mostrano che, sulle giornate analizzate, i chilometri pianificati risultano complessivamente coerenti con i chilometri effettivamente percorsi seguendo il piano. Tale evidenza conferma che l'impiego di un motore di routing su rete stradale reale consente di stimare in modo affidabile le distanze associate ai tour e che l'ordine di visita proposto produce percorsi plausibili anche in contesto operativo. Diversamente, i tempi stimati dal software risultano sistematicamente inferiori rispetto ai tempi osservati: lo scostamento medio rilevato è dell'ordine di circa 30 minuti per rotta. Tale differenza è coerente con la natura dei tempi calcolati dal sistema, che rappresentano principalmente tempi di guida teorici e non includono componenti di variabilità tipiche dell'operatività reale, quali traffico, soste intermedie, tempi di parcheggio, micro-deviazioni, gestione di imprevisti e attività accessorie legate alla consegna. Alla luce di tali evidenze, si introduce, in fase di pianificazione delle rotte, un buffer temporale fisso, pari allo scostamento medio osservato, in aggiunta ai tempi stimati dal software, finalizzato a migliorare l'aderenza tra piano e consuntivo e a rendere più plausibile il confronto AS IS – TO BE. L'introduzione di un buffer non modifica la logica di ottimizzazione delle rotte, ma consente di fornire agli operatori e ai volontari indicazioni temporali più realistiche, migliorando la prevedibilità del servizio e la qualità della pianificazione.

Giorno	Km plan	Km reali	Tempo plan	Tempo reale
10/02/2026	29.8	31	127	157
12/02/2026	32	33	135	170
17/02/2026	26.7	27	161	189
19/02/2026	34	34	140	169
24/02/2026	31	30	163	190

Tabella 5.3: Confronto tra percorrenze (km) e tempi (minuti) pianificati e osservati su cinque giornate per il veicolo seguito

5.2 Confronto AS IS – TO BE

La presente sezione è dedicata all'analisi comparativa dei risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello sviluppato e implementato tramite software, rispetto alla configurazione attuale del servizio. L'obiettivo del confronto non è limitato

alla valutazione di un miglioramento quantitativo delle prestazioni, ma mira anche a evidenziare l'impatto dell'ottimizzazione in relazione alle priorità operative del servizio, tenendo conto sia dei costi che vengono effettivamente sostenuti sia di quelli di natura figurativa. In una prima parte, l'analisi si concentra sulle distanze percorse e sui relativi costi di utilizzo dei veicoli, i quali rappresentano attualmente gli unici flussi di cassa direttamente associati al servizio di consegna. La riduzione della lunghezza delle rotte, accanto ad una maggiore uniformità delle stesse, costituisce pertanto l'obiettivo principale del processo di ottimizzazione, in quanto incide in modo immediato sui costi di carburante, manutenzione e usura dei mezzi, oltre a contribuire alla sostenibilità complessiva del servizio. Dal momento che i chilometri ottenuti nella configurazione TO BE sono calcolati su rete stradale reale e si riferiscono a distanze effettivamente percorribili con un veicolo, il confronto con la situazione AS IS risulta significativo e affidabile dal punto di vista operativo. Successivamente, la sezione analizza i tempi di percorrenza e i relativi *shadow cost* associati all'impiego dei volontari. A differenza dei chilometri, i tempi TO BE sono valori nominali forniti dal motore di routing e non tengono conto di tutte le variabili operative reali, quali, ad esempio, condizioni di traffico contingenti e soste impreviste. Di conseguenza, il confronto sui tempi deve essere interpretato con cautela. Sebbene lo *shadow cost*, associato ai tempi di lavoro dei volontari, non si traduca, allo stato attuale, in un esborso economico effettivo, rappresenta un indicatore fondamentale della sostenibilità del servizio nel lungo periodo. La riduzione dei tempi e del loro squilibrio tra le diverse rotte contribuisce infatti a contenere l'ammontare, in termini di ore, del lavoro volontario richiesto, a migliorare l'equità nella distribuzione delle attività e a rendere il servizio più robusto e scalabile nel tempo. In questo senso, l'analisi dei tempi completa quella delle distanze, offrendo una valutazione più ampia degli effetti dell'ottimizzazione che va oltre i soli flussi di cassa. Nel complesso, quindi, la struttura della presente sezione riflette la distinzione tra obiettivi di breve e lungo periodo, evidenziando come l'ottimizzazione delle rotte, pur essendo guidata principalmente dalla riduzione dei chilometri percorsi, produca benefici anche su dimensioni non immediatamente monetizzabili ma strategicamente rilevanti per l'evoluzione futura del servizio di FARO.

5.2.1 Distanze

L'analisi delle distanze percorse evidenzia un miglioramento sistematico della pianificazione TO BE rispetto a quella AS IS, come raffigurato nel grafico temporale in figura 5.10. In tutti i casi analizzati, i chilometri totali risultano ridotti, con percentuali di miglioramento comprese tra circa il 2% e oltre il 35%. La riduzione media si attesta intorno al 17%, a indicare che l'ottimizzazione proposta consente di ottenere risparmi significativi e strutturali sulle distanze percorse, pur operando su istanze di dimensione contenuta. I risultati più marcati si osservano in quelle giornate operative caratterizzate da una pianificazione iniziale particolarmente sub-ottimale, in cui l'algoritmo riesce a ridurre sensibilmente le assegnazioni territoriali inefficienti e i percorsi ridondanti. Al contempo, nei casi in cui la riduzione risulta più contenuta, il modello restituisce soluzioni molto vicine a quelle iniziali, senza introdurre peggioramenti, a conferma della robustezza dell'approccio adottato. I miglioramenti più contenuti si riscontrano prevalentemente nelle giornate operative caratterizzate

dall'impiego di due sole squadre e da un numero limitato di consegne. In questi casi, i chilometri percorsi nella configurazione AS IS risultano già relativamente ridotti e lo spazio di miglioramento offerto per l'ottimizzazione è fisiologicamente limitato. Dal punto di vista combinatorio, un numero inferiore di nodi e di veicoli riduce la flessibilità del problema e rende più probabile che la pianificazione manuale sia già prossima a una soluzione ottimale. La presenza di miglioramenti percentuali contenuti in questi scenari non rappresenta quindi una criticità del modello, bensì un comportamento atteso e coerente con la struttura del problema. I benefici più marcati emergono infatti nei casi caratterizzati da una maggiore complessità operativa, in cui l'aumento del numero di consegne e di squadre amplia lo spazio di ricerca e rende più difficile una pianificazione efficiente basata su criteri empirici.

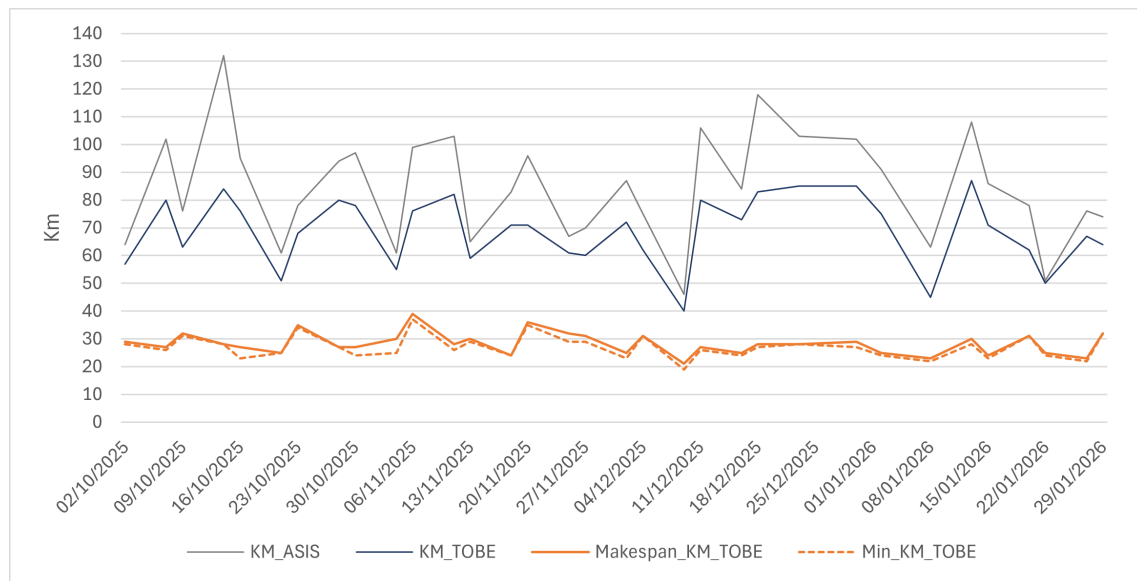


Figura 5.10: Confronto AS IS – TO BE dei chilometri complessivi giornalieri e range TO BE

Oltre alla riduzione della distanza complessivamente percorsa giornalmente, l'analisi dei risultati evidenzia un miglioramento significativo nella distribuzione dei chilometri tra le squadre operative. In particolare, il confronto tra configurazione AS IS e TO BE mostra una riduzione sistematica del *makespan* chilometrico, inteso come tratta giornaliera più lunga, in termini di chilometri, percorsa da una singola squadra. In numerosi casi, il percorso più oneroso risulta ridotto di oltre 10 km , con diminuzioni particolarmente marcate nelle giornate caratterizzate da una pianificazione iniziale fortemente sbilanciata. In media, il *makespan* si riduce di circa il 20% , ad indicare che l'onere spettante alla squadra che percorre la rotta più lunga risulta significativamente contenuto nella configurazione TO BE. Ancora più marcato è l'effetto sul range, che misura lo squilibrio tra il percorso più lungo e quello più corto (fig. 5.10), la cui riduzione media è pari a circa il 70% : mentre nella pianificazione AS IS il range assume frequentemente valori elevati, in molti casi superiori ai 10 km (fino al caso peggiore di 34 km), nella configurazione TO BE risulta quasi sempre contenuto entro pochi chilometri (in media 1.3 km). Ciò indica che l'ottimizzazione non solo riduce le distanze complessive, ma redistribuisce in modo più equo i percorsi tra le squadre,

con tratte più omogenee e una minore variabilità interna nella distribuzione dei chilometri. Tali risultati confermano l'efficacia della formulazione *min-max* adottata, che consente di limitare il carico massimo assegnato a una singola squadra e di migliorare l'equità operativa del servizio. Questo aspetto risulta particolarmente rilevante nel contesto di FARO, in cui le attività sono svolte da volontari e la sostenibilità del servizio dipende anche dalla percezione di una distribuzione equa dello sforzo. Poiché i chilometri percorsi rappresentano attualmente il principale flusso di cassa del servizio, i risultati ottenuti assumono un'elevata rilevanza operativa. La riduzione delle distanze si traduce infatti in un contenimento diretto dei costi di utilizzo dei veicoli e costituisce la principale giustificazione della scelta di una funzione obiettivo orientata soprattutto alla minimizzazione dei chilometri (peso dell'80%) nel modello sviluppato.

Costi di utilizzo dei veicoli

Il confronto tra i costi di trasporto AS IS – TO BE, riportato in tabella 5.4, evidenzia una diminuzione sistematica in tutte le giornate analizzate, senza la presenza di casi peggiorativi, coerentemente con la riduzione dei chilometri effettivamente percorsi su rete stradale reale. Dal punto di vista quantitativo, i costi di trasporto nella configurazione AS IS si collocano mediamente su valori dell'ordine di 34–35 euro per giornata operativa, mentre in quella TO BE si riducono a valori medi compresi tra i 28 e 29 euro. Ne risulta un risparmio medio per giornata del 17%, con riduzioni più marcate nelle giornate caratterizzate da maggiore complessità, dove il risparmio può superare anche i 10 €. Sebbene tali valori possano apparire contenuti se osservati su singole istanze, essi assumono un significato rilevante se considerati in un'ottica di continuità del servizio. I dati analizzati coprono un periodo di quattro mesi di attività, durante i quali il servizio di consegna viene svolto con una frequenza regolare di due volte a settimana. Stimando un numero annuo di circa 96 giornate operative (valore assunto come riferimento prudenziale considerando l'esclusione dei giorni festivi) e proiettando il risparmio medio giornaliero osservato sull'intero arco dell'anno, si stima una riduzione media complessiva dei costi di utilizzo dei veicoli di 576 euro. Nei quattro mesi analizzati si ottiene un risparmio medio di circa 50 € mensili, con un minimo di 42 € a gennaio e più di 64 € ad ottobre. Tali valori riflettono sia la variabilità del numero di giornate operative (nove ad ottobre, otto negli altri mesi), sia le differenze nella complessità delle consegne, ma mostrano in modo coerente come l'ottimizzazione produca benefici economici ricorrenti nel tempo. Nello scenario pessimistico, considerando risparmi mensili analoghi a quelli del mese di gennaio, si può stimare un risparmio annuale approssimativo di 500 €; in quello ottimistico, invece, di più di 750 €. Questi risultati sono ulteriormente significativi se si considera che il risparmio economico viene ottenuto senza richiedere investimenti aggiuntivi in termini di mezzi, personale o infrastrutture. In un contesto di volontariato e di risorse limitate come quello di FARO, anche risparmi apparentemente modesti assumono un valore strategico, poiché contribuiscono a migliorare la sostenibilità economica del servizio.

Data	AS-IS [€]	TO-BE [€]	Riduzione [%]
02/10/2025	25.60	22.80	10.94
07/10/2025	40.80	32.00	21.57
09/10/2025	30.40	25.20	17.11
14/10/2025	52.80	33.60	36.36
16/10/2025	38.00	30.40	20.00
21/10/2025	24.40	20.40	16.39
23/10/2025	31.20	27.20	12.82
28/10/2025	37.60	32.00	14.89
30/10/2025	38.80	31.20	19.60
04/11/2025	24.40	22.00	9.84
06/11/2025	39.60	30.40	23.23
11/11/2025	41.20	32.80	20.39
13/11/2025	26.00	23.60	9.23
18/11/2025	33.20	28.40	14.46
20/11/2025	38.40	28.40	26.04
25/11/2025	26.80	24.40	8.96
27/11/2025	28.00	24.00	14.29
02/12/2025	34.80	28.80	17.24
04/12/2025	30.00	24.80	17.33
09/12/2025	18.40	16.00	13.04
11/12/2025	42.40	32.00	24.53
16/12/2025	33.60	29.20	13.10
18/12/2025	47.20	33.20	29.66
23/12/2025	41.20	34.00	17.48
30/12/2025	40.80	34.00	16.67
02/01/2026	36.40	30.00	17.58
08/01/2026	25.20	18.00	28.57
13/01/2026	43.20	34.80	19.44
15/01/2026	34.40	28.40	17.44
20/01/2026	31.20	24.80	20.51
22/01/2026	20.40	20.00	1.96
27/01/2026	30.40	26.80	11.84
29/01/2026	29.60	25.60	13.51

Tabella 5.4: Confronto dei costi di trasporto tra configurazione AS IS e TO BE

Nel complesso, l'analisi dei costi di utilizzo dei veicoli conferma che la scelta di una funzione obiettivo orientata alla minimizzazione delle distanze percorse è pienamente coerente con le priorità operative attuali del servizio. I benefici economici osservati, uniti ai miglioramenti in termini di equità e di sostenibilità operativa, rafforzano il ruolo dell'ottimizzazione delle rotte come strumento di supporto alle decisioni, in grado di produrre effetti concreti e misurabili nel tempo.

5.2.2 Tempi

Il confronto tra AS IS e TO BE mostra una riduzione significativa dei tempi complessivi di servizio, nonostante l'utilizzo di un buffer precauzionale di 30 minuti. Le riduzioni percentuali si attestano in media intorno al 30%, con picchi superiori al 45% nelle giornate caratterizzate da una pianificazione particolarmente inefficiente. In termini assoluti, i tempi totali nella configurazione AS IS si collocano tipicamente tra le 6 e le 9 ore, mentre in quella TO BE si riducono a valori compresi tra le 3 e le 6 ore di servizio, come riportato nel grafico in figura 5.11. Nonostante la cautela, sottolineata in precedenza, con cui trattare questi dati temporali, l'entità delle riduzioni osservate risulta significativa e coerente su tutto il periodo di analisi. Le riduzioni non si concentrano infatti in singole giornate o in specifici mesi, ma mostrano un andamento stabile nel tempo, indicando un miglioramento di natura strutturale e non episodica. La diminuzione dei tempi nominali è riconducibile a una maggiore compattezza dei percorsi e a una migliore distribuzione delle consegne tra le squadre, già evidenziata dall'analisi dei chilometri percorsi. In questo senso, la riduzione dei tempi rappresenta un effetto indiretto ma rilevante dell'ottimizzazione orientata alla minimizzazione delle distanze.

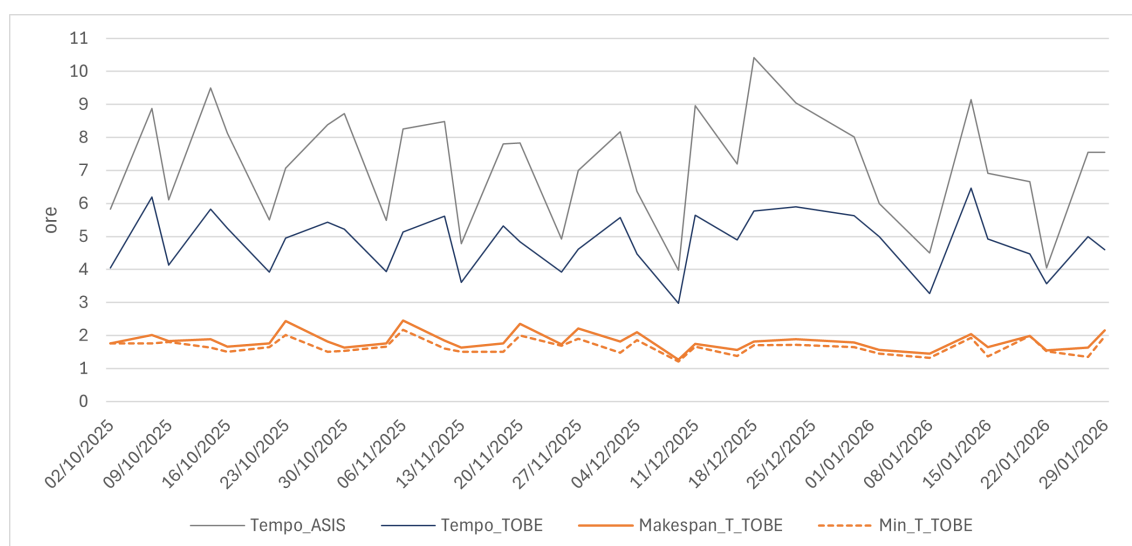


Figura 5.11: Confronto AS IS – TO BE delle ore complessive giornaliere di servizio e range TO BE

Il range temporale relativo alle rotte giornaliere assegnate alle squadre si colloca, nella configurazione TO BE, su un ordine di grandezza molto contenuto, pari a pochi minuti, con un valore massimo osservato di circa 25 minuti. Questo risultato indica una marcata riduzione della variabilità temporale tra le squadre, a favore di una maggiore omogeneità nella durata dei percorsi. Complessivamente, l'analisi dei tempi evidenzia come l'ottimizzazione delle rotte non si limiti a ridurre la durata media del servizio, ma contribuisca anche a contenere i picchi operativi e a rendere più prevedibile la durata complessiva delle attività di consegna, migliorando la pianificabilità del servizio e rafforzandone la robustezza operativa. In sintesi, pur con le dovute cautele interpretative, l'analisi dei tempi conferma che l'ottimizzazione delle

rotte produce un miglioramento sostanziale e sistematico dell'efficienza temporale del servizio.

Shadow cost del lavoro volontario

Data	AS-IS [€]	TO-BE [€]	Riduzione [%]
02/10/2025	102.49	71.20	30.53
07/10/2025	156.08	109.00	30.17
09/10/2025	107.47	72.66	32.39
14/10/2025	166.92	102.55	38.56
16/10/2025	142.90	92.30	35.41
21/10/2025	96.64	68.86	28.75
23/10/2025	124.16	87.02	29.91
28/10/2025	147.30	95.52	35.15
30/10/2025	153.15	91.71	40.12
04/11/2025	96.34	69.15	28.23
06/11/2025	144.95	90.24	37.74
11/11/2025	149.05	98.74	33.75
13/11/2025	84.04	63.58	24.35
18/11/2025	137.05	93.47	31.80
20/11/2025	137.63	84.97	38.26
25/11/2025	86.39	68.86	20.29
27/11/2025	122.99	81.16	34.01
02/12/2025	143.49	97.86	31.80
04/12/2025	111.86	78.52	29.80
09/12/2025	69.99	52.45	25.06
11/12/2025	157.54	99.33	36.95
16/12/2025	126.50	86.14	31.91
18/12/2025	183.02	101.38	44.61
23/12/2025	159.01	103.72	34.77
30/12/2025	140.85	99.03	29.69
02/01/2026	105.42	87.90	16.62
08/01/2026	79.07	57.43	27.37
13/01/2026	160.77	113.68	29.29
15/01/2026	121.53	86.44	28.88
20/01/2026	117.13	78.52	32.96
22/01/2026	71.16	62.70	11.88
27/01/2026	132.65	87.90	33.74
29/01/2026	132.65	80.87	39.04

Tabella 5.5: Confronto dello *shadow cost* del lavoro volontario tra configurazione AS IS e TO BE

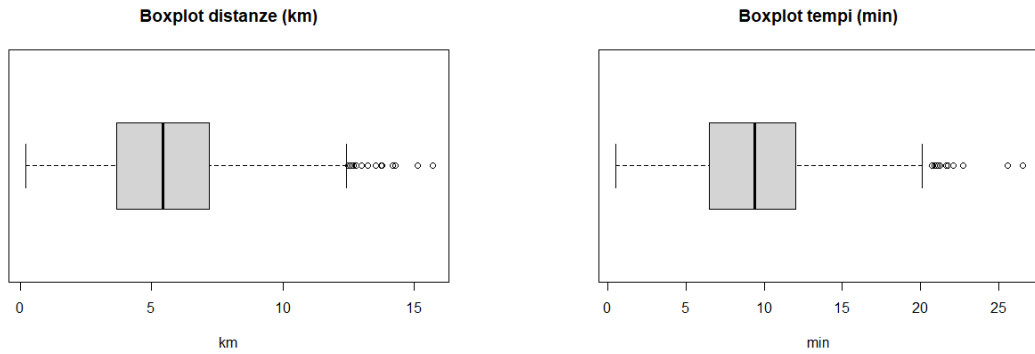
L'introduzione dello *shadow cost* del lavoro volontario consente di affiancare all'analisi dei costi monetari una valorizzazione dell'impiego delle risorse umane. Il confronto tra configurazione AS IS e TO BE, in tabella 5.5, mostra la riduzione sistematica

dello *shadow cost* nelle giornate analizzate, evidenziando i potenziali benefici anche sotto il profilo dell'utilizzo del lavoro volontario. Nel contesto di FARO, il tempo dei volontari rappresenta una risorsa fondamentale per l'erogazione del servizio, ma al tempo stesso limitata e difficilmente espandibile. Anche in assenza di un costo economico diretto, un utilizzo inefficiente di tale risorsa può compromettere nel tempo la continuità e la qualità del servizio. Dal punto di vista quantitativo, i valori di *shadow cost* nella configurazione AS IS risultano compresi indicativamente tra i 70 e gli oltre 180 euro equivalenti per giornata operativa, mentre nella TO BE si riducono ad un intervallo compreso tra circa 50 e 110 €. Le riduzioni percentuali osservate sono generalmente elevate e stabili, coerentemente con quanto detto sui tempi di servizio, risultando, anche nei casi più conservativi, comunque significative e raramente inferiori al 25%. Tali valori rappresentano indicatori dell'efficienza con cui il tempo dei volontari viene impiegato: un utilizzo più efficiente delle risorse umane contribuisce a ridurre il rischio di affaticamento e di discontinuità nella disponibilità dei volontari. L'analisi dello *shadow cost* si rivela uno strumento utile per il confronto tra scenari alternativi di pianificazione. In assenza di variazioni immediate nei flussi di cassa, esso permette di valutare quantitativamente l'impatto di differenti modelli organizzativi del servizio, fornendo anche un criterio oggettivo per confrontare soluzioni che potrebbero risultare equivalenti dal punto di vista dei soli costi monetari. Di fronte a una riduzione dei costi reali che potrebbe apparire modesta, l'analisi dei tempi e la loro valorizzazione evidenziano infatti miglioramenti rilevanti nell'impiego delle risorse umane e, quindi, nella sostenibilità del servizio nel lungo periodo. In una valutazione completa del costo del lavoro andrebbero, inoltre, incluse le ore di servizio che i volontari dedicano alla programmazione del trasporto. Nell'AS IS, infatti, l'assegnazione dei carichi alle squadre e la schedulazione delle consegne sono oggetto del briefing iniziale dei volontari, la cui durata ammonta a circa un'ora. L'introduzione del software per la pianificazione giornaliera annulla la necessità di questa fase che precede il servizio vero e proprio di trasporto e consegna, con benefici che sarebbero ancora più evidenti se il lavoro fosse svolto da personale retribuito.

5.3 Analisi delle matrici OSRM

Al fine di valutare la qualità e le proprietà statistiche delle matrici di distanza e tempo generate dal motore di routing e impiegate nel modello di ottimizzazione, è stata condotta un'analisi esplorativa in ambiente R sui valori d_{ij} e t_{ij} restituiti da OSRM per gli archi (i, j) del grafo. La base dati analizzata è costituita da 2574 archi per i quali OSRM restituisce distanza (in metri) e tempo (in secondi), convertendoli successivamente in chilometri (d_{ij} , km) e minuti (t_{ij} , min) per facilitarne l'interpretazione. I boxplot (fig. 5.12) evidenziano una distribuzione concentrata nella fascia centrale e la presenza di una coda destra con un numero limitato di valori estremi (rappresentati dai punti oltre i "baffi" definiti secondo la regola $Q_3 + 1.5 \cdot IQR$) sia per le distanze sia per i tempi, coerente con collegamenti con nodi periferici o tra coppie particolarmente distanti. Le distribuzioni (fig. 5.13) confermano tale struttura: la maggior parte degli archi ricade in un intervallo urbano tipico, mentre la parte finale della distribuzione (coda) contribuisce ai valori massimi osservati. In

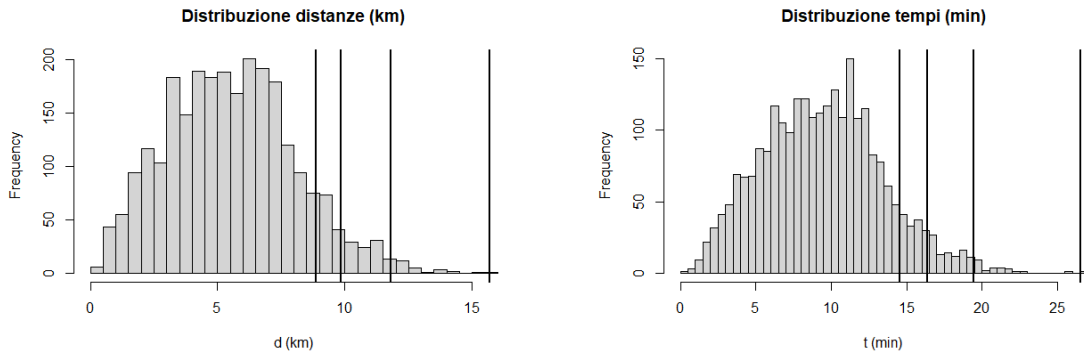
termini quantitativi, i percentili calcolati confermano la presenza di *outlier* moderati e compatibili con un contesto metropolitano: per le distanze si ottiene $P90 = 8.87 \text{ km}$, $P95 = 9.86 \text{ km}$, $P99 = 11.82 \text{ km}$, con massimo pari a 15.69 km ; per i tempi $P90 = 14.54 \text{ min}$, $P95 = 16.37 \text{ min}$, $P99 = 19.47 \text{ min}$, con massimo pari a 26.52 min . Complessivamente, la struttura a coda destra in entrambe le variabili suggerisce l'esistenza di archi più lunghi/lenti rispetto alla massa centrale del dataset, ma non evidenzia anomalie macroscopiche (ad esempio valori incompatibili con l'area di Torino); tuttavia, suggerisce attenzione nella scelta delle procedure di normalizzazione basate sul massimo, potenzialmente sensibili a pochi archi estremi.



(a) Boxplot delle distanze d_{ij} (km).

(b) Boxplot dei tempi t_{ij} (min).

Figura 5.12: Distribuzione e outlier di distanze e tempi ottenuti da OSRM.



(a) Distribuzione delle distanze d_{ij} (km).

(b) Distribuzione dei tempi t_{ij} (min).

Figura 5.13: Distribuzioni di distanze e tempi (OSRM): evidenza della coda destra e dei valori estremi.

Nel software sviluppato, la funzione costo per arco è costruita a partire da una normalizzazione che riporta distanza e tempo in un intervallo comune. In particolare, a partire da d_{ij} (km) e t_{ij} (min), si definiscono:

$$d_{ij}^{\text{norm}} = \frac{d_{ij}}{\max(d)} \quad t_{ij}^{\text{norm}} = \frac{t_{ij}}{\max(t)}, \quad (5.1)$$

così che entrambe le grandezze risultino comprese in $[0,1]$. Tale impostazione rende interpretabile la pesatura (80% distanza, 20% tempo) poiché evita di sommare direttamente quantità con unità di misura diverse. La normalizzazione per massimo presenta un vantaggio operativo: l'arco più lungo (o più lento) assume valore unitario e risulta quindi pienamente penalizzato dal *solver*. D'altra parte, la normalizzazione tramite massimo può risultare sensibile alla presenza di *outlier*: qualora $\max(d)$ o $\max(t)$ fosse determinato da un numero molto ridotto di archi anomali (ad esempio indirizzi geocodificati fuori area o coppie con routing non rappresentativo), l'intera scala verrebbe "schiacciata" e la maggioranza degli archi assumerebbe valori normalizzati più piccoli, riducendo la capacità discriminante nella parte centrale della distribuzione. Nel presente caso, il confronto tra percentili e massimi mostra che $\max(d)$ e $\max(t)$ sono superiori ai rispettivi $P99$, indicando una coda non trascurabile (Fig. 5.13). Ciò suggerisce che, qualora si volesse rendere la normalizzazione più robusta rispetto a possibili *outlier*, un'alternativa sarebbe sostituire il massimo con un quantile elevato (ad esempio $P99$ o $P95$), definendo

$$d_{ij}^{\text{norm}} = \frac{d_{ij}}{Q_d}, \quad t_{ij}^{\text{norm}} = \frac{t_{ij}}{Q_t}, \quad (5.2)$$

dove Q_d e Q_t sono i quantili scelti. Tale scelta riduce la dipendenza del fattore di scala da pochissimi archi estremi. Tuttavia, nel caso in cui gli archi più lunghi/lenti siano reali e operativamente rilevanti, un'eccessiva robustezza potrebbe attenuare la penalizzazione degli estremi e rendere archi molto diversi più simili dal punto di vista del costo normalizzato. Per questo motivo, nel presente lavoro, la normalizzazione per massimo viene mantenuta come opzione di riferimento, mentre l'eventuale impiego di quantili elevati (es. $P99$) viene considerato come variante metodologica qualora l'analisi di qualità dei dati evidenziasse *outlier* non plausibili o imputabili a errori di input.

Capitolo 6

Evolutioni future e versatilità del prodotto

Il presente capitolo si propone di collocare i risultati ottenuti nei capitoli precedenti all'interno di un quadro più ampio di evoluzione del servizio di consegna a domicilio della Fondazione, superando una lettura limitata alle sole prestazioni operative di breve periodo. In particolare, l'obiettivo è discutere come le priorità di ottimizzazione e i criteri decisionali possano variare al mutare delle condizioni tecnologiche, organizzative e strategiche in cui il servizio viene erogato. In questa prospettiva, l'ottimizzazione delle rotte non viene più interpretata esclusivamente come uno strumento per migliorare l'efficienza giornaliera del servizio, ma come un supporto alle decisioni in grado di orientare scelte strutturali di medio-lungo periodo. In particolare, vengono introdotti due ambiti di riflessione ritenuti strategici per il futuro del servizio: il dimensionamento delle risorse impiegate e l'evoluzione del parco veicoli. Da un lato, quindi, viene trattato il tema dell'efficienza di lungo periodo, traducibile nella scelta del numero di veicoli e di squadre da impiegare in funzione del volume di consegne; dall'altro lato, viene considerata l'ipotesi di una transizione verso veicoli elettrici, la quale comporterebbe una revisione delle priorità di ottimizzazione. In tale scenario, infatti, pur rimanendo rilevante il contenimento delle distanze percorse, assumono maggiore importanza i tempi di servizio, il bilanciamento temporale dei tour e il rispetto di vincoli operativi legati all'autonomia e alla ricarica dei veicoli. Il pacchetto software sviluppato, grazie alle modifiche configurabili da interfaccia, si presta anche a rispondere a modifiche dell'assetto organizzativo del servizio e, a seguito di integrazioni e adattamenti, ad applicazioni analoghe a quella per cui è stato appositamente creato. In conclusione, l'ultima sezione del presente capitolo discute l'utilità e la versatilità del TSP in ambito logistico-sanitario, con le varianti utili a fronteggiare situazioni e contesti diversificati.

6.1 Lungo periodo e sostenibilità del servizio

I risultati presentati nel capitolo precedente mostrano come l'ottimizzazione delle rotte possa produrre benefici in termini di riduzione delle distanze percorse, dei costi di utilizzo dei veicoli e del tempo complessivamente richiesto per l'erogazione del

servizio. Tuttavia, in una prospettiva di lungo periodo, l'efficienza del servizio non dipende esclusivamente dalla qualità della pianificazione delle rotte, ma anche dal corretto dimensionamento delle risorse impiegate, il quale determina la capacità del sistema di adattarsi efficientemente a variazioni della domanda. In questo senso, il numero di squadre e di veicoli disponibili (e quindi di rotte da pianificare) rappresenta una variabile decisionale di primaria importanza, in grado di contribuire a migliorare ulteriormente l'efficienza operativa. Intervenire su questa variabile consente di esplorare compromessi tra costi, tempi e carico di lavoro, aprendo la possibilità di individuare configurazioni operative più adatte a diversi livelli di domanda. Nella presente sezione non viene sviluppato un modello formale per la determinazione del numero ottimale di squadre/veicoli da impiegare nel servizio. L'obiettivo non è infatti quello di risolvere un problema di dimensionamento in senso stretto, bensì quello di esplorare in modo mirato come variazioni nel numero di risorse possano incidere sull'efficienza complessiva del servizio. In particolare, l'analisi si concentra su un sottoinsieme di giornate operative in cui, nella configurazione analizzata, sono stati impiegati tre veicoli, nonostante un numero di consegne relativamente contenuto – pari o inferiore a venti. Per tali casi, è stata valutata una configurazione alternativa: il servizio è stato ripianificato utilizzando due veicoli anziché tre, al fine di osservare come una riduzione delle risorse impiegate influisca su indicatori quali i chilometri percorsi, i tempi di servizio e il bilanciamento dei carichi, senza introdurre la complessità di un modello di ottimizzazione dedicato al dimensionamento. La scelta di focalizzarsi su queste poche istanze giornaliere (riportate in tab. 6.1 e 6.2) non implica che esse rappresentino le uniche situazioni in cui una variazione del numero di squadre possa risultare appropriata, ma risponde all'esigenza di analizzare casi immediatamente evidenti di possibile incoerenza organizzativa nella definizione delle risorse impiegate. Rimane inteso che un'analisi più estesa, applicata a un insieme più ampio di casi o supportata da un modello di dimensionamento dedicato, potrebbe individuare ulteriori configurazioni in cui la riduzione (o eventualmente l'aumento) del numero di squadre risulti conveniente. È opportuno ricordare che i costi di utilizzo dei veicoli sono stati stimati sulla base dei costi chilometrici medi forniti dalle tabelle ACI, che includono voci quali carburante, manutenzione ordinaria e straordinaria, ammortamento del veicolo, assicurazione e tassa automobilistica. Tale approccio risulta adeguato per confrontare configurazioni che impiegano lo stesso numero di veicoli, in quanto consente di valutare correttamente l'effetto della variazione dei chilometri percorsi a parità di struttura dei costi. Nel confronto tra configurazioni con un diverso numero di veicoli, il costo ACI continua a fornire una stima coerente del costo medio di percorrenza, ma non consente invece di catturare in modo esplicito la riduzione dei costi fissi associata all'impiego di un numero inferiore di mezzi. Per tale ragione, la seguente analisi è focalizzata sulla quantificazione degli effetti in termini di tempi e chilometri percorsi, trattando il confronto dei costi in modo qualitativo. La sezione proposta mira quindi a fornire elementi utili per una valutazione consapevole delle scelte operative, evidenziando come il dimensionamento delle risorse rappresenti una leva decisionale rilevante per l'efficienza e la sostenibilità del servizio nel lungo periodo.

6.1.1 Casi analizzati

Distanze e tempi

Data	Distanze [min]				
	AS IS	TO BE	Rid.% vs AS IS	$v = 2$	Rid.% vs AS IS
16/10/2025	95	76	20.00%	64	32.63%
30/10/2025	97	78	19.59%	65	32.99%
16/12/2025	84	73	13.10%	55	34.52%
02/01/2026	91	75	17.58%	65	28.57%
15/01/2026	86	71	17.44%	60	30.23%
27/01/2026	76	67	11.84%	55	27.63%

Tabella 6.1: Confronto delle distanze percorse tra configurazioni AS IS, TO BE e scenario con due veicoli

Data	Tempi [min]				
	AS IS	TO BE	Rid.% vs AS IS	$v = 2$	Rid.% vs AS IS
16/10/2025	488	315	35.45%	275	43.65%
30/10/2025	523	313	40.15%	276	47.23%
16/12/2025	432	294	31.94%	216	50.00%
02/01/2026	360	300	16.67%	266	26.11%
15/01/2026	415	295	28.92%	262	36.87%
27/01/2026	453	300	33.77%	265	41.50%

Tabella 6.2: Confronto dei tempi totali di servizio tra configurazioni AS IS, TO BE e scenario con due veicoli

Costi

Le riduzioni delle distanze percorse, riportate in tabella 6.1, si traducono direttamente in una diminuzione dei costi variabili dei veicoli, proporzionali ai chilometri percorsi. Tuttavia, in presenza di costi fissi, in particolare di quelli il cui ammontare dipende in qualche misura dall'utilizzo dei veicoli, l'analisi non può limitarsi alla sola variazione delle distanze, ma deve considerare anche l'impatto derivante dall'impiego di un numero diverso di mezzi. In particolare, la riduzione del numero di squadre operative comporta l'eliminazione di alcuni costi legati al mezzo non utilizzato, come ad esempio la manutenzione. In una prospettiva di confronto tra configurazioni con un diverso numero di veicoli, è pertanto possibile distinguere tra una quota di costi realmente fissi, indipendenti dall'utilizzo, e una quota di costi che si attiva solo in presenza dell'impiego effettivo del veicolo. In questo contesto, risultano di interesse anche i casi in cui, riducendo il numero di veicoli da tre a due, si osserva un peggioramento, seppur contenuto, dei chilometri percorsi e dei tempi complessivi di servizio. Qualora la limitazione a due risorse produca un miglioramento simultaneo sia in termini di distanze sia di tempi, la convenienza di impiegare due sole squadre risulta immediata. Viceversa, nei casi in cui la riduzione del numero di veicoli comporti un aumento

dei chilometri e dei tempi, il confronto tra soluzioni con due e tre veicoli può essere ricondotto alla valutazione del *trade-off* tra l'incremento dei costi variabili legati ai chilometri percorsi e il risparmio (inteso come insieme delle componenti di costo dipendenti dall'uso del veicolo) associato alla mancata attivazione del mezzo aggiuntivo. A tal fine, è utile adottare una scomposizione dei costi che distingua tra una componente proporzionale ai chilometri percorsi e una componente fissa ma non interamente indipendente dall'utilizzo del veicolo. In particolare, alcune voci comunemente assimilate ai costi fissi (ad esempio manutenzione ordinaria e straordinaria) dipendono in realtà dall'intensità d'uso del mezzo e possono quindi essere trattate come costi *semi-variabili*. Si consideri una giornata operativa d e siano:

- $v \in \{2,3\}$ il numero di veicoli impiegati;
- $KM_d(v)$ i chilometri totali percorsi nella giornata d utilizzando v veicoli;
- c_{km} il costo variabile unitario per chilometro;
- C^{puro} il costo annuo *puramente fisso* per veicolo (ad es. assicurazione e tassa automobilistica), indipendente dall'utilizzo;
- C^{uso} la quota annua di costi *semi-variabili* per veicolo (ad es. manutenzione e componenti legate all'uso), dipendente dall'effettivo impiego del mezzo;
- N_v il numero di giornate annue in cui un veicolo viene effettivamente impiegato.

Il servizio di home delivery farmaceutico a Torino prevede circa 96 giornate operative annue; tuttavia, non per tutte le giornate vengono impiegati simultaneamente i tre veicoli aziendali dedicati esclusivamente al servizio. La quota di costo annuo semi variabile dipendente dall'uso può essere ripartita sulle sole giornate in cui il veicolo è effettivamente attivato, ottenendo un costo *per attivazione*:

$$C_{\text{att}} = \frac{C^{\text{uso}}}{N_v}. \quad (6.1)$$

Tale ripartizione rappresenta una convenzione utile per il confronto marginale tra alternative operative e non modifica la natura annuale dei costi considerati. Il costo di attivazione del veicolo aggiuntivo non rappresenta un parametro noto a priori, ma una soglia decisionale che riflette le priorità organizzative del servizio. Ai fini del confronto tra l'impiego di due o tre veicoli nella giornata d , si considera il costo giornaliero come somma tra: (i) costo variabile proporzionale ai chilometri percorsi e (ii) costo di attivazione del veicolo aggiuntivo. In particolare:

$$C_d(2) = c_{km} KM_d(2), \quad (6.2)$$

$$C_d(3) = c_{km} KM_d(3) + C_{\text{att}}. \quad (6.3)$$

La configurazione con $v = 2$ veicoli risulta economicamente preferibile se:

$$C_d(2) \leq C_d(3). \quad (6.4)$$

Sostituendo le espressioni in (6.2)–(6.3), si ottiene la condizione di convenienza:

$$c_{km} \left(KM_d(2) - KM_d(3) \right) \leq C_{att}. \quad (6.5)$$

L'equazione (6.5) evidenzia il *trade-off*: l'eventuale incremento di chilometri (e quindi di costo variabile) dovuto alla riduzione a due veicoli è accettabile purchè rimanga inferiore al costo di attivazione del terzo mezzo. In una prospettiva di scalabilità del servizio, se l'assetto organizzativo dovesse cambiare – coinvolgendo, ad esempio, operatori retribuiti al posto di volontari –, i cambiamenti inerenti al dimensionamento delle risorse influirebbero anche sui costi del personale. In tali contesti, il costo del lavoro non risulta necessariamente proporzionale al tempo totale di servizio. In molti processi logistici di trasporto, infatti, il personale è organizzato per turni o per giornate di lavoro, spesso caratterizzati da un numero minimo di ore garantite per squadra, indipendentemente dalla durata effettiva del giro di consegna. In presenza di tali vincoli contrattuali, la riduzione del numero di squadre attivate può tradursi in una diminuzione diretta dei costi del lavoro, anche qualora il tempo complessivo di servizio aumenti moderatamente. Dal punto di vista analitico, indicando con v il numero di squadre, con c il costo orario per operatore e con h il numero minimo di ore retribuite per squadra, il costo giornaliero del personale può essere espresso come

$$C^{\text{pers}}(v) = 2c \max\{s(v), vh\},$$

dove $s(v)$ rappresenta la durata complessiva, in ore, del servizio svolto dalle v squadre. In tale contesto, una configurazione con un numero maggiore di squadre può risultare economicamente meno efficiente anche qualora il tempo effettivo di servizio sia inferiore. Ad esempio, l'impiego di tre squadre con un turno minimo garantito di 4 ore comporta un totale di 24 *ore-persona* retribuite, mentre una configurazione alternativa con due squadre e un tempo effettivo di servizio pari a 5 ore per squadra risulta in 20 *ore-persona*. A questa valutazione si aggiunge quella inerente gli ulteriori costi di natura organizzativa, quali il coordinamento delle squadre, la pianificazione operativa e la gestione delle risorse umane, che tendono a crescere con il numero di squadre impiegate e che risultano solo parzialmente catturati da indicatori puramente temporali o chilometrici. Ne consegue che, in una prospettiva di lungo periodo, la valutazione dell'efficienza di una configurazione operativa non può essere limitata al confronto diretto tra chilometri percorsi o tempi di servizio. Al contrario, essa deve tenere conto di un più ampio *trade-off* tra l'eventuale aumento di distanza o durata dei percorsi e la riduzione dei costi associati all'attivazione dei veicoli e delle squadre, nonché della complessità organizzativa del servizio.

6.2 Passaggio all'elettrico

In un plausibile scenario di transizione verso veicoli elettrici, l'obiettivo di ottimizzazione non si limita più alla sola minimizzazione delle distanze percorse. La variabile di maggiore importanza è l'autonomia dei veicoli, che il cruscotto digitale mostra in termini di chilometri rimanenti stimati e percentuale di carica della batteria. Si tratta di stime basate su algoritmi predittivi che analizzano lo stile di guida recente, l'uso del climatizzatore, la temperatura esterna e il consumo energetico medio. Gli

algoritmi di calcolo aggiornano l'autonomia del veicolo dividendo la capacità attuale della batteria (in kWh) per il consumo medio recente su X chilometri (kWh/Xkm). Ottimizzare le rotte di una flotta elettrica è più complesso rispetto a una flotta termica perché il legame tra distanza, tempo e consumo non è lineare. I chilometri non sono un'unità di misura dell'energia: a parità di distanze percorse, due veicoli potrebbero ritrovarsi con percentuali di carica residua molto differenti. Un percorso più breve può consumare molta più batteria di un percorso più lungo ma pianeggiante o a una velocità più moderata. Si passa dal concetto di "*shortest path*" a quello di "*eco-routing*", in cui entrano in gioco variabili diverse, come velocità, pendenza e traffico. Nelle auto elettriche, il motore è molto più efficiente e consuma pochissimo a basse velocità, ma, proprio per questo, il peso del tempo diventa fondamentale in condizioni, ad esempio, di traffico intenso. In questi casi, il consumo del motore crolla, ma quello di climatizzatore, computer di bordo, fari e altri servizi resta fisso, distorcendo il rapporto km/consumi. La temperatura esterna è molto rilevante: mentre in una termica il rapporto tempo/consumo è quasi nullo, in un'auto elettrica il solo fatto di restare ferma nel traffico al freddo fa scendere i chilometri di autonomia. Sebbene l'attuale funzione obiettivo sia configurata in modo tale da includere sia distanze sia tempi e da permettere la variazione dei relativi pesi tramite l'interfaccia utente, potrebbe essere necessario modificarne le variabili e integrare nel modello ulteriori vincoli operativi. L'impostazione *min-max* rimane la più adeguata, dal momento che consente (i) operatività – evitando che un veicolo, o più, resti senza carica –, (ii) longevità della flotta – mantenendo tutti i veicoli con uno stato di carica intermedio e, quindi, prolungando la vita utile delle batterie – e (iii) flessibilità – preservando la carica su tutti i veicoli, si possono gestire più efficientemente emergenze o cambi di rotta improvvisi. Tuttavia, non è più sufficiente applicare questa logica ai soli chilometri, o a una combinazione distanze – tempi: serve una metrica energetica. Inoltre, applicare al *min-max* vincoli relativi allo stato di carica residuo (il cosiddetto "*State of Charge*" – SoC) permette di:

- evitare i "*deep discharge cycles*": le batterie al litio si degradano molto più velocemente quando scendono sotto il 15-20% e, quindi, puntare a una scarica uniforme evita che un singolo mezzo della flotta lavori in zona critica;
- bilanciare la ricarica: se tutti i mezzi rientrano con il 40% di carica, la potenza richiesta per ricaricarli contemporaneamente sarà bilanciata, evitando picchi di costo relativi all'infrastruttura elettrica.

Nel caso di impiego di una flotta elettrica, priva di possibilità di ricarica lungo il percorso (i nodi corrispondono esclusivamente a punti di consegna), la metrica di costo della variante *min-max* dell'M-TSP può essere ridefinita in termini di energia richiesta (kWh), sostituendo distanza e tempo di guida. Sia $G = (V, A)$ il grafo completo, per ogni arco $(i, j) \in A$ si assume noto un consumo energetico $e_{ij} \geq 0$ (kWh). Si considerino m veicoli indicizzati da $k \in K = \{1, \dots, m\}$ e variabili binarie x_{ij}^k tali che $x_{ij}^k = 1$ se il veicolo k percorre l'arco (i, j) , 0 altrimenti. L'energia totale associata alla rotta del veicolo k è:

$$E_k = \sum_{(i,j) \in A} e_{ij} x_{ij}^k. \quad (6.6)$$

L'obiettivo di bilanciamento *min-max* viene espresso introducendo una variabile ausiliaria Z che rappresenta il massimo consumo energetico tra i veicoli:

$$\min Z \quad (6.7)$$

$$\text{s.t. } E_k \leq Z \quad \forall k \in K. \quad (6.8)$$

In assenza di ricariche intermedie, la fattibilità energetica è garantita imponendo un vincolo globale di autonomia per ciascun veicolo. Indicando con B_k la capacità nominale della batteria (kWh) e con \underline{B}_k una riserva minima (equivalente a un SoC minimo) da mantenere, l'energia utilizzabile risulta $B_k^{\text{use}} = B_k - \underline{B}_k$ e si impone:

$$E_k \leq B_k^{\text{use}} \quad \forall k \in K. \quad (6.9)$$

Nel presente lavoro, in assenza di misure dirette di energia (kWh) per ciascuno spostamento, il consumo energetico associato a un arco viene stimato mediante un modello basato sulle sole grandezze disponibili calcolate dal motore di routing, ovvero distanza d_{ij} e tempo di percorrenza t_{ij} . In particolare, si adotta la seguente approssimazione lineare:

$$e_{ij} = \alpha d_{ij} + \beta t_{ij}, \quad (6.10)$$

dove α (kWh/km) rappresenta un consumo medio per unità di distanza, mentre β (kWh/min) cattura un contributo proporzionale alla durata del viaggio, includendo in forma aggregata effetti riconducibili a congestione/stop-and-go e consumi ausiliari dipendenti dal tempo (ad es. climatizzazione ed elettronica di bordo). I parametri α e β dovranno essere calibrati tramite regressione, passaggio attualmente non eseguibile, dal momento che la variabile dipendente e_{ij} non è osservabile. Tuttavia, d_{ij} e t_{ij} derivano dallo stesso motore di routing (OSRM) e risultano spesso fortemente correlati. Pertanto, l'uso congiunto dei due regressori può condurre, in un'eventuale futura calibrazione *data-driven*, a problemi di multicollinearità e, quindi, a stime instabili dei coefficienti. Per verificare la possibilità di questo aspetto, è stata svolta un'analisi esplorativa in ambiente R (RStudio), valutando (i) la correlazione campionaria tra d_{ij} e t_{ij} , (ii) la bontà di adattamento della regressione $t_{ij} \sim d_{ij}$ (tramite R^2) e (iii) la distribuzione della velocità media implicita. Evidenza di correlazione elevata e variabilità limitata di v_{ij} conferma la parziale ridondanza informativa tra distanza e tempo.

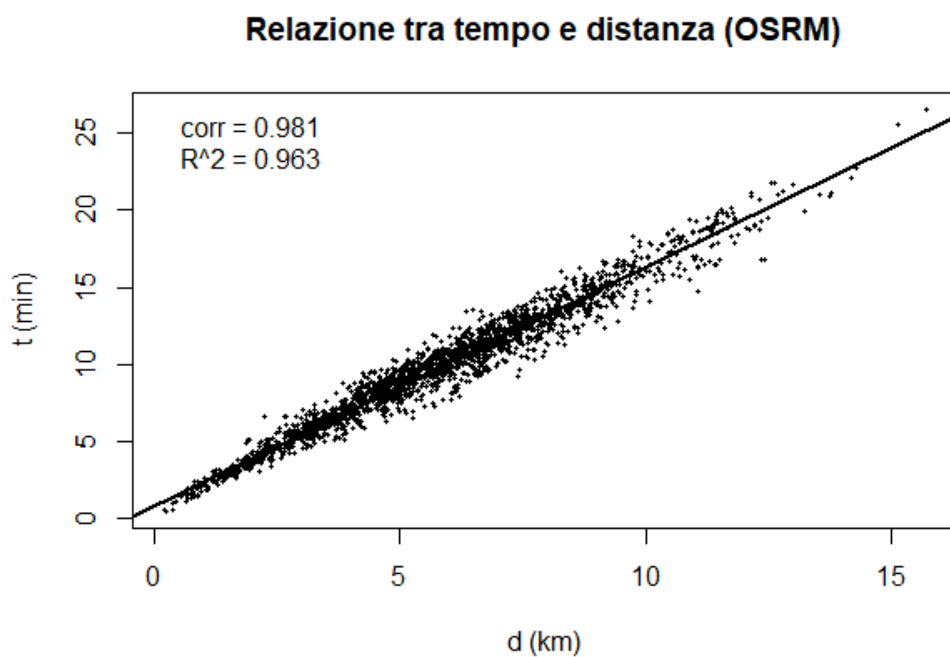


Figura 6.1: Scatter plot tempo – distanza

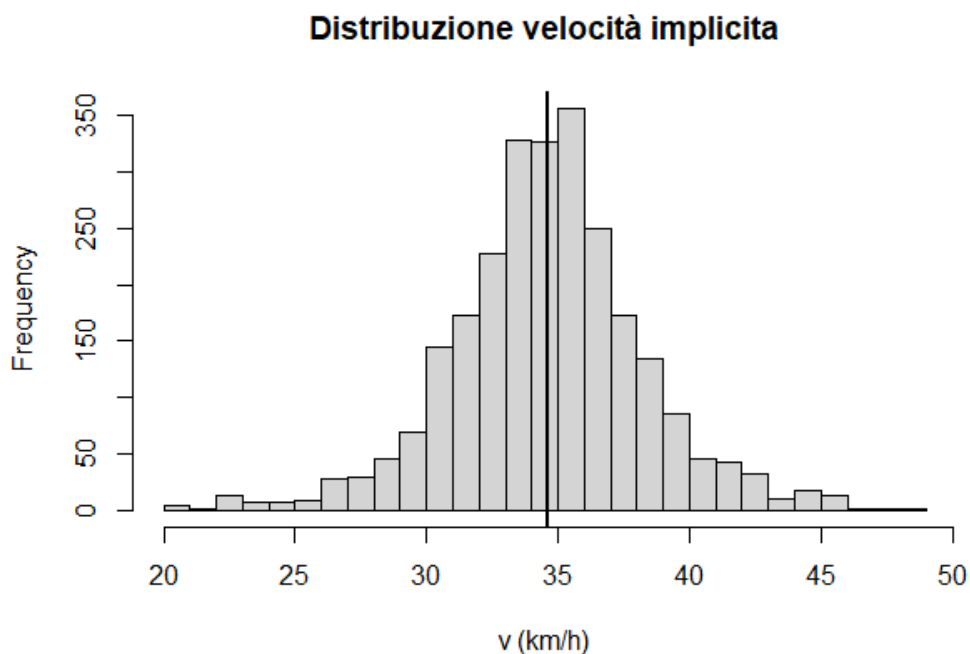


Figura 6.2: Distribuzione della velocità implicita

L'analisi esplorativa sugli archi (i, j) restituiti da OSRM evidenzia una forte dipendenza tra distanza e tempo di percorrenza: la correlazione di Pearson tra d_{ij}

e t_{ij} risulta pari a $\rho = 0.981$, mentre la regressione lineare $t_{ij} \sim d_{ij}$ presenta un coefficiente di determinazione pari a $R^2 = 0.963$ (fig. 6.1). Tale risultato è coerente con la distribuzione della velocità media implicita

$$v_{ij} = \frac{d_{ij}}{t_{ij}/60}, \quad (6.11)$$

che risulta concentrata attorno a valori tipicamente urbani (circa 35 km/h) con variabilità contenuta (fig. 6.2). In un contesto di questo tipo, il tempo di percorrenza è quindi, in prima approssimazione, quasi proporzionale alla distanza e le due variabili veicolano informazioni in larga parte sovrapposte. Di conseguenza, l'uso congiunto di d_{ij} e t_{ij} nel modello

$$e_{ij} = \alpha d_{ij} + \beta t_{ij} \quad (6.12)$$

può soffrire di problemi di identificabilità dei parametri (multicollinearità), rendendo poco robusta l'interpretazione separata di α e β in una eventuale calibrazione futura. In assenza di misure energetiche reali e_{ij} e perseguendo l'obiettivo di adottare un indicatore semplice e stabile per la stima dei consumi, nel seguito si adotta come *proxy* energetica una formulazione semplificata basata sulla sola distanza,

$$e_{ij} \approx \alpha d_{ij}. \quad (6.13)$$

Dal punto di vista dell'ottimizzazione, è inoltre utile osservare che, quando e_{ij} è proporzionale alla distanza (ossia $e_{ij} = \alpha d_{ij}$ con α costante), l'obiettivo *min-max* su energia risulta matematicamente equivalente a un *min-max* su distanza, poiché:

$$E_k = \sum_{(i,j) \in A} e_{ij} x_{ij}^k = \alpha \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} x_{ij}^k = \alpha D_k. \quad (6.14)$$

Analogamente, una funzione obiettivo composita basata su distanza e tempo normalizzati (ad esempio $0.8 \cdot d_{ij}^{\text{norm}} + 0.2 \cdot t_{ij}^{\text{norm}}$) tende a produrre soluzioni molto simili nel caso in esame, proprio perché t_{ij} varia quasi linearmente con d_{ij} . Ne consegue che la principale discontinuità introdotta dal passaggio all'elettrico non risiede tanto nella forma dell'obiettivo, quanto nell'introduzione dei vincoli energetici di autonomia/SoC: il vincolo

$$E_k \leq B_k^{\text{use}} \quad (6.15)$$

agisce come criterio di fattibilità e può rendere non ammissibili assegnazioni o rotte che risultavano ottime in termini di chilometri/tempi, forzando una diversa ripartizione dei clienti tra veicoli e quindi modificando la struttura delle rotte ottenute. L'architettura del modello sviluppata per la pianificazione di rotte con veicoli termici risulta, nella sostanza, trasferibile anche a un contesto *Electric Vehicles (EV)*, almeno come primo livello di supporto decisionale. Il motivo è duplice: da un lato, il motore di routing (OSRM) continua a fornire le grandezze operative fondamentali per il problema (distanze e tempi), indipendentemente dalla tecnologia di trazione; dall'altro, l'impostazione di ottimizzazione adottata (bilanciamento *min-max* delle rotte) rimane coerente con l'obiettivo gestionale di distribuire il carico di lavoro tra i mezzi e ridurre il rischio operativo. In linea con valori *real-world* tipici per autovetture elettriche, si adotta come valore di riferimento $\alpha = 0.20$ kWh/km (equivalente a 20 kWh/100 km) e si considera un intervallo di sensibilità $\alpha \in [0.16, 0.24]$ kWh/km

per riflettere la variabilità dovuta a modello di veicolo, condizioni ambientali e stile di guida. La disponibilità energetica per missione è definita a partire dalla capacità utilizzabile della batteria B_k (kWh) e da una finestra operativa di stato di carica (*State of Charge*, SoC), imponendo un livello di partenza SoC^{start} e una soglia minima SoC^{min} al di sotto della quale si evita di scendere per ragioni operative e di preservazione della batteria. Ne consegue:

$$B_k^{use} = B_k (SoC^{start} - SoC^{min}). \quad (6.16)$$

Assumendo una policy conservativa $SoC^{start} = 90\%$ e $SoC^{min} = 20\%$, risulta $B_k^{use} = 0.70 B_k$. A titolo esemplificativo, per una batteria di capacità utilizzabile $B_k = 60$ kWh si ottiene $B_k^{use} = 42$ kWh. Il vincolo energetico globale per ciascun veicolo k è quindi espresso come:

$$E_k = \sum_{(i,j) \in A} e_{ij} x_{ij}^k \leq B_k^{use} \quad \forall k \in K. \quad (6.17)$$

Con le ipotesi sopra riportate, l'autonomia operativa equivalente (in km) associata al vincolo può essere interpretata come:

$$D_k^{max} = \frac{B_k^{use}}{\alpha}. \quad (6.18)$$

Nel caso base ($B_k^{use} = 42$ kWh, $\alpha = 0.20$ kWh/km) si ottiene $D_k^{max} = 210$ km; nell'analisi di sensibilità, D_k^{max} varia tra 175 km (per $\alpha = 0.24$) e 262.5 km (per $\alpha = 0.16$). Ne segue che, se le percorrenze delle rotte urbane pianificate risultano significativamente inferiori a tali soglie, il vincolo SoC tende a non essere *binding* e non altera in modo sostanziale la struttura delle soluzioni ottimali rispetto allo scenario termico; viceversa, qualora l'operatività richieda missioni più estese, il vincolo diventerebbe stringente, forzando una diversa ripartizione dei nodi tra veicoli.

6.3 Sviluppi applicativi del modello

Il modello di instradamento adottato in questa tesi si fonda sulla formulazione *min-max Multiple Traveling Salesman Problem*, il cui l'obiettivo di minimizzare la lunghezza (o durata) del tour più lungo tra quelli assegnati ai diversi veicoli/operatori, risulta più adeguato, rispetto a quello più comune di minimizzazione del costo totale (*min-sum*), in contesti in cui è rilevante l'equità nella distribuzione del carico di lavoro. In letteratura il *min-max* M-TSP viene infatti motivato come criterio di bilanciamento dei *workload* e di minimizzazione del *makespan* del servizio, con applicazioni logistiche e di scheduling. Nell'ambito healthcare, questo modello risulta naturale ogni volta che il servizio richiede più squadre (volontari, corrieri specializzati, infermieri, tecnici) e si vuole evitare che la performance complessiva sia determinata dal percorso più oneroso. Tuttavia, l'applicazione in contesti diversi può richiedere estensioni della modellazione: (i) integrazione di priorità cliniche e obiettivi multipli, (ii) presenza di più depositi o punti di partenza (*multi-depot*), (iii) vincoli di capacità (CVRP e varianti), (iv) adozione di paradigmi risolutivi alternativi (Constraint Programming vs Reinforcement Learning). Nei servizi sanitari

la distanza non è l'unica variabile rilevante: pazienti fragili, urgenze, terapie *time-critical*, farmaci termolabili e vincoli organizzativi possono imporre un ordine di servizio o livelli di servizio differenti. In questi casi, l'estensione più immediata del *min-max* M-TSP consiste nell'introdurre più obiettivi da ottimizzare, come penalità per ritardo sui pazienti prioritari, massimizzazione del numero di consegne "on time" per classi cliniche, minimizzazione dell'esposizione termica o dei tempi fuori frigo: il problema diventa multi-obiettivo. La letteratura sul *multi-objective/multi-criteria* M-TSP mostra come, in presenza di più obiettivi (alcuni da minimizzare e altri da massimizzare), non esista una singola soluzione "migliore" ma un insieme di soluzioni di compromesso descritte da una frontiera di Pareto. In un contesto sanitario, ciò si traduce nella necessità di esplicitare *trade-off* tra efficienza ed equità dei tour e qualità clinica del servizio e di definire operativamente l'approccio con cui gestirlo. Un altro aspetto rilevante è che molti contesti reali non presentano un unico punto di partenza/arrivo: possono esistere più farmacie ospedaliere, più magazzini territoriali, hub distrettuali, punti di cross-docking o basi operative di squadre domiciliari. In tali casi, il problema si estende a un *multi-depot* M-TSP/VRP, in cui non si decide soltanto la sequenza di visita, ma anche a quale deposito assegnare ciascun paziente/consegna, come bilanciare il carico tra depositi e tra squadre appartenenti a depositi diversi e come valutare eventuali vincoli di rifornimento intermedio o scambio materiale. L'introduzione del multi-depot aumenta la complessità perché il problema incorpora una fase di clustering/allocazione (assegnazione nodo-deposito) oltre al routing. Dal punto di vista applicativo, ciò consente di modellare scenari tipici della sanità territoriale: gestione di aree vaste con basi periferiche, oppure strategie di resilienza (ridondanza di hub) in caso di indisponibilità temporanea di una sede. In molte applicazioni un vincolo dominante è poi la capacità del mezzo o dell'operatore: volume e peso dei colli, numero massimo di consegne per giro, limiti di trasporto di materiale sensibile (catena del freddo), o disponibilità di contenitori isotermici. In questi casi, la formulazione corretta è una variante del *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, che impone che la domanda totale servita in ogni rotta non superi la capacità del veicolo. In sanità, la capacità può essere anche multi-dimensionale e può variare per tipologia di veicolo o operatore (flotta eterogenea). Operativamente, l'estensione verso CVRP è particolarmente rilevante per la distribuzione di dispositivi e ausili ingombranti, le consegne di nutrizione artificiale o farmaci termolabili con packaging voluminoso, oppure per la raccolta di campioni (vincoli di contenimento e biosicurezza). A varianti di formulazione del modello, si affiancano inoltre metodi risolutivi differenti. In questa tesi la risoluzione è stata implementata con OR-Tools, che combina tecniche di Constraint Programming (CP) e *Local Search* per trovare soluzioni ammissibili e di buona qualità in tempi contenuti. Questo approccio presenta vantaggi pratici importanti in ambito healthcare con facilità di codifica di vincoli *hard*, assenza di fase di training (il solver lavora direttamente sull'istanza del giorno) e maggiore controllabilità e auditabilità (vincoli espliciti, parametri interpretabili). Una linea alternativa, discussa in letteratura recente, è l'uso di *Reinforcement Learning (RL)* per risolvere il *min-max* M-TSP: il problema viene modellato come un ambiente in cui gli agenti scelgono sequenzialmente la prossima visita, e la *reward* è legata al valore dell'obiettivo. Rispetto al *CP*, l'*RL* cambia la logica di sviluppo:

- fase offline di *training*: si addestra una policy su molte istanze (reali o sintetiche)

per imparare una strategia di costruzione delle rotte;

- fase online di *inference*: una volta addestrata, la policy genera soluzioni molto rapidamente (utile quando si devono risolvere molte istanze simili o in tempo reale);
- generalizzazione: la qualità dipende dalla somiglianza tra le istanze di training e le istanze operative, pertanto cambiamenti strutturali (multi-depot, capacità, nuovi vincoli) richiedono spesso riaddestramento o redesign della *reward*.

Inoltre, la gestione dei vincoli differisce: in *CP* i vincoli sono nativamente parte del modello, mentre in *RL* vanno incorporati tramite mascheramento delle azioni, *reward shaping* o procedure di riparazione della soluzione. Per questo, in contesti healthcare ad alta criticità (dove la fattibilità non è negoziabile), l'*RL* è spesso più convincente come componente ibrida, ad esempio per generare una soluzione iniziale o guidare euristiche, lasciando a *CP/Local Search* il compito di garantire fattibilità e rifinitura.

In conclusione, il *min-max* M-TSP costituisce una base efficace per servizi in cui il bilanciamento tra squadre è un requisito primario. La portabilità del modello è elevata, ma le applicazioni in contesti diversi (sanità territoriale, distribuzione ospedaliera, trial direct-to-patient, raccolta campioni) possono richiedere estensioni progressive – priorità cliniche, multi-depot, vincoli di capacità, metodi risolutivi differenti. Queste estensioni delineano una traiettoria naturale di evoluzione verso un sistema di ottimizzazione end-to-end, capace di supportare scelte operative (routing giornaliero) e strategiche in una logistica healthcare sempre più distribuita e patient-centric [46][47][48].

Capitolo 7

Conclusioni

Questo elaborato ha affrontato il tema della logistica *healthcare* con focus su un caso reale di *home delivery* di farmaci a supporto dell'assistenza domiciliare, in un contesto in cui la continuità del servizio e la qualità percepita dipendono non solo dall'efficienza (distanze e tempistiche), ma anche dalla sostenibilità organizzativa e dall'equità nella distribuzione dello sforzo tra squadre operative. L'obiettivo del lavoro è stato duplice: da un lato, riprogettare il processo di pianificazione delle consegne, passando da una logica manuale ed esperienziale a una logica *data-driven*; dall'altro, realizzare un prodotto digitale leggero e replicabile che rendesse l'ottimizzazione realmente fruibile nel quotidiano. Il risultato finale non è quindi soltanto una formulazione teorica, ma un insieme coerente di analisi, modellazione, implementazione software e validazione sul campo: un percorso end-to-end che parte dal processo AS IS, definisce priorità di intervento e requisiti, costruisce una base dati, implementa un risolutore, genera configurazioni TO BE e misura l'impatto operativo ed economico in condizioni reali.

7.1 Sintesi delle attività svolte e del percorso metodologico

Il lavoro si è sviluppato lungo una sequenza logica che ha mantenuto come filo conduttore la trasformazione di un bisogno operativo in un sistema decisionale utilizzabile. In primo luogo, è stata svolta un'analisi di contesto sulla logistica sanitaria e, in particolare, sulla crescente rilevanza della domiciliarità. In un quadro di deospedalizzazione e presa in carico continuativa, la supply chain non costituisce un'attività ancillare ma un elemento abilitante del percorso di cura: la disponibilità del farmaco al domicilio, nei tempi e con le corrette condizioni di conservazione, diventa un prerequisito di servizio. L'inquadramento teorico è stato quindi finalizzato a motivare la rilevanza del caso studio e a collocare la riprogettazione del processo all'interno di trend più ampi (digitalizzazione, centralità del paziente, pressione su costi e personale). Successivamente, il caso studio è stato approfondito attraverso la descrizione del contesto operativo e degli stakeholder, e soprattutto tramite l'analisi AS IS del processo di pianificazione e svolgimento delle consegne. Tale analisi ha reso espliciti i punti critici più rilevanti: dipendenza dall'esperienza dell'operatore, variabilità delle soluzioni giornaliere, procedure di pianificazione non standardizzate, bassa efficienza, carenza di strumenti di supporto e difficoltà nel

garantire un bilanciamento stabile tra squadre. La rappresentazione dei flussi fisici e informativi e la decomposizione del servizio (figure 3.1 e 3.2) hanno consentito di individuare chiaramente dove collocare l'intervento di miglioramento, che si concentra sulla fase di programmazione del trasporto e, in particolare, sull'allocazione del carico giornaliero alle diverse squadre e sulla schedulazione delle consegne (routing). In parallelo, sono stati definiti i requisiti funzionali e non funzionali del sistema: oltre a generare i risultati di ottimizzazione, il tool software sviluppato doveva essere utilizzabile da parte di utenti non tecnici, integrabile con l'input già disponibile (file Excel), ripetibile e robusto ai problemi tipici dei dati reali (indirizzi incompleti, errori di digitazione, necessità di controllo manuale). In questo senso, la tesi ha dedicato attenzione non solo al *modello*, ma anche alla costruzione della *pipeline* dati. Uno step cruciale è stato infatti lo sviluppo di una base di calcolo coerente per le distanze e i tempi di percorrenza. L'adozione di un motore di routing (OSRM) e la sua integrazione in un ambiente riproducibile (Docker) hanno permesso di costruire matrici di costo basate sulla rete stradale e, allo stesso tempo, di rendere replicabile l'esecuzione del sistema. Poiché in contesti reali i dati di indirizzo rappresentano spesso il collo di bottiglia principale, la tesi ha affrontato esplicitamente la geocodifica e la gestione delle anomalie, introducendo una procedura di controllo e correzione in grado di garantire coerenza tra input e output. Su queste basi è stata sviluppata la proposta TO BE: la pianificazione è stata formalizzata come problema di routing multi-veicolo e risolta mediante una formulazione *min-max Multiple Traveling Salesman Problem*. La scelta del *min-max* è stata motivata dal contesto: in un servizio basato sul lavoro e sulla dedizione di volontari (o, più in generale, su risorse umane critiche), la minimizzazione del tour più lungo è un obiettivo naturale perché riduce il *makespan* operativo e distribuisce in modo più equo il carico tra squadre. Il modello è stato inoltre reso più aderente alle esigenze operative includendo vincoli organizzativi (ad esempio la necessità di vincolare alcune sequenze di tappe) e un vincolo di bilanciamento del numero di consegne tra squadre, con *slack* configurabile per gestire la fattibilità. Infine, la tesi ha trasformato il modello in uno strumento operativo: un'interfaccia dedicata (Streamlit) per caricare i dati, impostare parametri, eseguire il risolutore e produrre output leggibili (report, rotte, link dei percorsi). La validazione è stata condotta su casi reali e non soltanto su dati sintetici, includendo un confronto AS IS vs TO BE e una verifica sul campo delle stime di percorrenza.

7.2 Risultati ottenuti e interpretazione dei benefici

I risultati del confronto tra configurazione AS IS e TO BE mostrano benefici consistenti sia sul piano logistico sia sul piano organizzativo, con effetti che risultano particolarmente evidenti nelle giornate caratterizzate da maggiore complessità operativa (più consegne e più squadre). Coerentemente con la natura combinatoria del problema, quando il numero di nodi è ridotto e le squadre sono poche, lo spazio di miglioramento è fisiologicamente più limitato e, in tali casi, la pianificazione manuale può essere già vicina a una soluzione efficiente. Al contrario, con l'aumentare della complessità, il valore aggiunto dell'ottimizzazione cresce perché la soluzione "empirica" tende a degradare. In termini di chilometri complessivi, l'ottimizzazione porta a

una riduzione media significativa (17%), con giornate in cui il miglioramento è più contenuto e giornate in cui diventa molto marcato (35%). Questo risultato è coerente con l'obiettivo del modello e ha un impatto diretto sul piano economico: i chilometri percorsi sono infatti legati ai costi di utilizzo dei veicoli (tabella 5.4) e, di conseguenza, al flusso di cassa del servizio. Accanto all'efficienza totale, l'aspetto distintivo della formulazione *min-max* è l'effetto sul bilanciamento tra squadre. L'analisi dei risultati evidenzia una riduzione sistematica del *makespan* chilometrico, inteso come percorso più lungo assegnato a una singola squadra, e una riduzione ancora più marcata del *range* di distanza tra le rotte (figura 5.10). Ridurre gli squilibri significa ridurre la probabilità che una squadra sostenga sistematicamente un carico eccessivo e, di conseguenza, aumentare la sostenibilità del servizio nel tempo. L'equità non è quindi un criterio "etico" astratto, ma una leva gestionale che incide sulla continuità operativa e sull'accettabilità del processo da parte dei volontari. La tesi ha inoltre evidenziato e discusso il *trade-off* tra approcci *min-max* e *min-sum*: il confronto specifico (figura 4.6) mostra che, passando a una logica *min-sum*, si può ottenere un ulteriore miglioramento sulla somma totale dei chilometri, ma a fronte di un peggioramento del *makespan* e soprattutto del *range*, cioè proprio dell'indicatore di equità. Questa evidenza è utile perché chiarisce che la scelta della funzione obiettivo non è neutra: la decisione è dipesa dalla policy del servizio e dal valore attribuito alla distribuzione del carico. Per quanto riguarda i tempi, la validazione sul campo (tabella 5.3) ha consentito di mettere in evidenza un tema tipico delle applicazioni reali: i tempi restituiti da un motore di routing sono tempi di guida teorici e tendono a sottostimare i tempi effettivi, che includono componenti operative (parcheggio, accesso, consegna, attese, traffico). Questa osservazione non rappresenta una criticità del modello, ma un elemento da gestire. Il lavoro ha mostrato che, introducendo un *buffer* prudenziale e utilizzando i tempi soprattutto come supporto comparativo e non come previsione puntuale, è possibile mantenere il beneficio dell'ottimizzazione senza perdere affidabilità. Un ulteriore risultato riguarda la valorizzazione economica del lavoro volontario. Attraverso l'introduzione di uno *shadow cost* (tabella 5.5), la tesi propone una lettura che consente di attribuire valore anche al tempo delle risorse non retribuite e di confrontare scenari alternativi (ad esempio variazioni del numero di squadre o cambiamenti organizzativi) su una base economica omogenea. Questo passaggio sposta l'attenzione da una semplice riduzione dei chilometri a una valutazione più ampia di sostenibilità e impatto. Infine, le analisi di scenario (tabelle 6.1 e 6.2) mostrano come il *framework* sviluppato possa essere utilizzato per supportare decisioni non solo operative, ma anche tattiche: ad esempio, valutare l'effetto di un assetto con un diverso numero di veicoli impiegati rispetto alla configurazione corrente, in termini di distanze e tempi complessivi. Il tool quindi non si limita a generare rotte ottimizzate, ma abilita un approccio più strutturato al dimensionamento e alla scelta delle configurazioni di servizio.

7.3 Discussione critica e limiti del lavoro

Nonostante i risultati ottenuti, è opportuno evidenziare alcuni limiti e assunzioni che delimitano il perimetro di applicabilità e indicano aree di miglioramento. Il primo limite riguarda la qualità e disponibilità del dato. La performance dell'ottimizzazione

dipende dalla bontà degli indirizzi, dalla coerenza delle coordinate e dalla capacità di gestire eccezioni (indirizzi incompleti, cambi di domicilio, errori di digitazione). La tesi ha affrontato questo aspetto tramite procedure di normalizzazione e geocodifica, ma in un utilizzo continuativo sarà utile istituzionalizzare una governance del dato (standard di compilazione, controlli automatici, log di errori ricorrenti) per ridurre il lavoro manuale. Il secondo limite riguarda l'uso del tempo come metrica. Le stime di un *routing engine* sono influenzate da ipotesi su velocità, traffico e condizioni stradali, e non includono tempi di servizio. L'approccio adottato rimane valido se i tempi sono interpretati come indicatori comparativi e se viene introdotto un *buffer* operativo, ma in scenari con vincoli temporali stringenti (finestre orarie, appuntamenti, urgenze) potrebbe essere necessario un modello più ricco, in cui i tempi di servizio siano esplicitamente rappresentati e la variabilità sia gestita. Un terzo limite riguarda i vincoli non modellati che possono emergere in evoluzioni future: capacità del veicolo, compatibilità tra consegne e mezzo (termolabilità, volume), skill degli operatori, priorità cliniche, regole di sequenziamento più articolate. In altri contesti, questi vincoli diventano centrali e trasformano l'M-TSP in una variante di VRP più complessa. Infine, dal punto di vista dell'adozione, la trasformazione digitale non dipende solo dalla correttezza algoritmica: richiede accettazione organizzativa, formazione, definizione di responsabilità e capacità di integrare il tool nel flusso di lavoro quotidiano. Anche un sistema ottimale può essere rifiutato se non è percepito come controllabile o se non consente di gestire eccezioni operative. In questo senso, la scelta di un'interfaccia semplice e la presenza di output interpretabili costituiscono un punto di forza del lavoro; tuttavia, per una piena industrializzazione, diventano importanti aspetti come *logging*, tracciabilità delle modifiche e integrazione con strumenti già utilizzati dall'organizzazione.

7.4 Ruolo dell'AI generativa nel processo di sviluppo

Nel corso del lavoro è stato utilizzato anche un supporto basato su AI generativa, non come metodo di ottimizzazione (che resta affidato a OR-Tools e a un approccio basato su vincoli), bensì come acceleratore del ciclo di sviluppo software. In particolare, l'AI generativa è stata impiegata per ridurre i tempi di prototipazione e di iterazione su componenti applicativi, rendendo più rapido il passaggio da un'idea di soluzione a un prodotto effettivamente utilizzabile. Il contributo principale ha riguardato attività tipiche di *software engineering*: strutturazione dell'interfaccia utente e dei flussi di input/output, generazione e rifinitura di porzioni di codice ripetitive, supporto nel *debugging* di errori ricorrenti e nella riorganizzazione modulare di funzioni. Questo supporto ha consentito di aumentare la velocità con cui testare alternative implementative e di convergere più rapidamente verso una soluzione stabile, migliorando l'usabilità complessiva del tool. È importante evidenziare che l'uso di AI generativa introduce anche rischi, in particolare la possibilità di produrre codice formalmente plausibile ma non corretto, o soluzioni non aderenti a vincoli e requisiti specifici del dominio. Per questo motivo, l'AI è stata utilizzata con un approccio di validazione sistematica: ogni modifica rilevante è stata verificata tramite test funzionali ed end-to-end e controlli di coerenza sugli output (fattibilità

delle rotte e consistenza delle metriche). In questa prospettiva, l'AI generativa non sostituisce la progettazione e la verifica, ma agisce come strumento di supporto che riduce il costo di esplorazione di alternative implementative, a condizione che sia inserita in un processo controllato. In sintesi, l'AI generativa ha avuto un ruolo abilitante nel rendere il progetto più rapido da sviluppare e più solido dal punto di vista applicativo, contribuendo indirettamente al risultato principale della tesi: la disponibilità di un tool ripetibile e utilizzabile per la pianificazione delle consegne. Il contributo metodologico e valutativo resta invece legato al modello di ottimizzazione adottato, all'implementazione del risolutore e alla validazione dei benefici ottenuti in condizioni operative.

7.5 Sviluppi futuri e applicabilità in contesti diversi

Le evoluzioni future possono essere lette su due piani complementari: da un lato, l'estensione del modello a scenari con vincoli più ricchi; dall'altro, l'estensione del prodotto verso una piattaforma più integrata. Sul piano della modellazione, un primo sviluppo naturale consiste nell'inclusione di priorità cliniche e obiettivi multipli. In contesti *healthcare* reali, alcune consegne possono essere più urgenti o più sensibili (pazienti fragili, terapie time-critical, farmaci termolabili) e questo può richiedere l'introduzione di penalità di ritardo, precedenza, oppure finestre temporali. Dal punto di vista tecnico, ciò porta a formulazioni multi-obiettivo del modello. Un secondo sviluppo riguarda il multi-depot. In reti territoriali estese, o in presenza di più hub (farmacie ospedaliere, magazzini distrettuali, basi di squadre), il problema non è solo "come visitare i nodi", ma anche "da dove partire" e "a quale deposito assegnare ciascun paziente". Questo scenario aumenta la complessità, ma è anche estremamente rilevante per la sanità territoriale, in quanto consente di valutare strategie di regionalizzazione, riduzione dei *lead time* e maggiore resilienza della rete. Un terzo sviluppo fondamentale è l'introduzione di vincoli di capacità (CVRP e varianti). Se i colli diventano voluminosi, se si introducono contenitori isotermitici limitati o se si gestiscono dispositivi e ausili, la capacità diventa un vincolo *hard* che modifica la struttura delle soluzioni. In tali casi, la formulazione *min-max* resta concettualmente utile per bilanciare il carico, ma deve essere integrata con vincoli di capacità (anche multidimensionali) e, potenzialmente, con una flotta eterogenea. Sul piano metodologico e applicativo, una direzione promettente è quella riguardante un approccio ibrido: utilizzare il *reinforcement learning* per costruire buone soluzioni iniziali o guidare euristiche, e utilizzare *CP/Local Search* per garantire fattibilità e rifinire la soluzione rispetto ai vincoli più stringenti. Dal lato prodotto, gli sviluppi futuri riguardano l'industrializzazione: automazione dell'ingestione dati, gestione utenti e permessi, monitoraggio dei KPI, integrazione con sistemi informativi (anagrafiche, prenotazioni, magazzino) e reportistica standardizzata per audit e valutazione di performance nel tempo. In particolare, l'integrazione di un ciclo di miglioramento continuo (raccolta di tempi reali, calibrazione delle stime, aggiornamento di parametri) consentirebbe di aumentare progressivamente l'accuratezza e la robustezza del sistema.

In conclusione, la tesi dimostra che l'adozione di un modello di routing *min-max*, integrato in un tool software semplice e replicabile, può generare benefici concreti e misurabili in un servizio *healthcare* reale: riduzione delle percorrenze e dei tempi di servizio, maggiore equità tra squadre e maggiore trasparenza nella valutazione economica del servizio, includendo anche la valorizzazione del contributo volontario. Il valore del lavoro risiede nella combinazione tra rigore metodologico e aderenza operativa: l'ottimizzazione non è proposta come esercizio astratto, ma come strumento che si innesta su vincoli reali, dati imperfetti e necessità quotidiane di pianificazione. Le estensioni discusse per l'evoluzione del modello delineano una *roadmap* per portare la soluzione proposta verso scenari più complessi e verso un supporto decisionale sempre più integrato, robusto e *patient-centric*.

Bibliografia

- [1] Transportation Research Procedia. *Logistics in healthcare: a selected review of literature from 2010 to 2022* (cit. alle pp. 2, 4).
- [2] *The Nuances of Healthcare Logistics: A Complete Guide*. URL: <https://impressit.io/blog/healthcare-logistics> (cit. alle pp. 2, 4).
- [3] McKinsey Company. *McKinsey on healthcare: Perspectives and research for the healthcare industry* (cit. a p. 2).
- [4] La Filiera Healthcare in Italia - Centro studi Consorzio Dafne. 2025 (cit. a p. 7).
- [5] Panorama della Sanità. *Logistica Healthcare: per il 71% degli ospedali un'attività strategica*. 2025. URL: <https://panoramadellasanita.it/site/logistica-healthcare-per-il-71-degli-ospedali-e-unattivita-strategica/> (cit. alle pp. 8, 18).
- [6] Logistica Distributiva Healthcare - Centro studi Consorzio Dafne. 2025 (cit. a p. 9).
- [7] Carlo Rafele, Chiara Campanale. *Il ruolo chiave della logistica sanitaria: evoluzione e strategie per l'innovazione*. 2022. URL: <https://www.healthtech360.it/strategie-globali-per-la-salute-digitale/logistica-sanitaria/> (cit. a p. 12).
- [8] International Journal of Research Publication and Reviews. *Streamlining Logistics in Medical Supply Chains: Enhancing Accuracy, Speed, Affordability, and Operational Efficiency* (cit. a p. 12).
- [9] Irene Sottile - Farmacia Ospedaliera Az. USL Toscana Sud Est. *I modelli distributivi del farmaco come strumento di governance e di accesso uniforme alle cure - Reportage XLIII Congresso Nazionale SIFO, Main session*. 2025 (cit. a p. 16).
- [10] Federica Asperti, Emanuela Foglia, Giovanni Pirovano, Rossella Pozzi, Tommaso Rossi, Maurizia Punginelli and Fabrizio Schettini. *Redesigning the Drugs Distribution Network: The Case of the Italian National Healthcare Service*. 2024 (cit. a p. 16).
- [11] Centro interdipartimentale di ricerca in farmacoconomia e farmacoutilizzazione. *Le note CUF/AIFA ed il Prontuario Ospedale Territorio (PHT): cosa sono, come sono state revisionate, a cosa servono*. 2013 (cit. a p. 16).

- [12] Sanità33. *Logistica healthcare, domiciliarità in crescita ma restano nodi su governance e acquisti*. 2025. URL: <https://www.sanita33.it/studi-e-analisi/6683/logistica-healthcare-domiciliarita-in-crescita-ma-restano-nodi-su-governance-e-acquisti.html> (cit. a p. 18).
- [13] AboutPharma. *Logistica Healthcare: "Precision Logistics" e ricerca LIPHE*. 2025. URL: <https://www.aboutpharma.com/sanita-e-politica/logistica-healthcare-precision-logistics-ricerca-liphe/> (cit. a p. 18).
- [14] Il Corriere della Sicurezza. *Logistica Healthcare in evoluzione, ma burocrazia e gap con ospedali restano sfide aperte*. 2025. URL: <https://www.ilcorrieredelasicurezza.it/logistica-healthcare-in-evoluzione-ma-burocrazia-e-gap-con-ospedali-restano-sfide-aperte/> (cit. a p. 18).
- [15] DHL. *Delivering next level healthcare - White Paper* (cit. a p. 18).
- [16] by Shubham Singhal, Nithya Vinjamoori, and Mathangi Radha - McKinsey Company. *The next frontier of healthcare delivery* (cit. a p. 18).
- [17] Beta 80- *Logistica del farmaco le tecnologie al servizio della salute. Logistica del farmaco: le innovazioni per gestire i farmaci*. URL: <https://news.beta80group.it/logistica-del-farmaco-le-tecnologie-al-servizio-della-salute> (cit. a p. 20).
- [18] G. Banchieri, A. Vannucci - QuotidianoSanità. *Verso un nuovo modello italiano di cure domiciliari integrate: la lezione dell'Ocse e il ruolo strategico dell'intelligenza artificiale*. 2025. URL: <https://www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/verso-un-nuovo-modello-italiano-di-cure-domiciliari-integrate-la-lezione-dellocse-e-il-ruolo-strategico-dellintelligenza-artificiale/> (cit. a p. 20).
- [19] In Salute news. *Patologie croniche, farmaci e terapie a domicilio. Da SIFO progetto di 'Home Delivery'*. 2021. URL: <https://www.insalutenews.it/in-salute/patologie-croniche-farmaci-e-terapie-a-domicilio-da-sifo-progetto-di-home-delivery/> (cit. a p. 22).
- [20] Avv. Valerio Pandolfini- *Avvocato specializzato in diritto farmaceutico. Dematerializzazione delle ricette e Home delivery dei farmaci*. 2023. URL: <https://diritto-farmaceutico.it/dematerializzazione-delle-ricette-e-home-delivery-dei-farmaci/> (cit. a p. 22).
- [21] Panorama della Sanità. *Come potenziare i servizi domiciliari in Italia alla luce dell'invecchiamento della popolazione: alcuni elementi di riflessione*. 2025. URL: <https://panoramadellasanita.it/site/la-svolta-necessaria/> (cit. a p. 22).
- [22] Sanità Informazione. *In un'Italia che invecchia e sempre più fragile: il ruolo centrale degli Homecare Provider*. <https://www.sanitainformazione.it/in-unitalia-che-invecchia-e-sempre-piu-fragile-il-ruolo-centrale-degli-homecare-provider/>. 2019 (cit. a p. 22).
- [23] *Medicinali a domicilio grazie all'app Pharmap*. URL: <https://www.4live.it/2025/10/medicinali-a-domicilio-grazie-allapp-pharmap/> (cit. a p. 25).

- [24] SIFO. *DM 77 e sanità di prossimità: il farmacista ospedaliero come connettore dei bisogni e vari setting*. 2022. URL: https://www.sifoweb.it/images/pdf/stampa-comunicazione/comunicati-stampa/2022/com_stp_SIFO_13_DM77.pdf (cit. a p. 25).
- [25] *Note a margine del XLIII Congresso SIFO*. URL: <https://www.bollettinosifo.it/archivio/3915/articoli/38981/> (cit. a p. 25).
- [26] Ministero della Salute. *Rete delle cure palliative*. URL: <https://www.salute.gov.it/new/it/tema/nuova-assistenza-distrettuale/rete-delle-cure-palliative/> (cit. alle pp. 26, 27).
- [27] Americo Cicchetti- Direttore Generale della Programmazione Sanitaria, Ministero della Salute. *Audizione sui piani di potenziamento delle cure palliative*. URL: https://www.senato.it/application/xmanager/projects/leg19/attachments/documento_evento_procedura_commissione/files/000/432/421/Presentazione_Senato_11_febbraio_2025_-mod.10.02.2025.pdf (cit. alle pp. 26, 27, 33).
- [28] AGENAS. *Istruttoria sullo stato di attuazione della legge 38 del 2010 in materia di rete delle cure palliative*. URL: https://www.agenas.gov.it/images/agenas/In%20primo%20piano/cp/documento_cure_palliative.pdf (cit. alle pp. 29, 33).
- [29] Michela Perrone. *L'evoluzione delle cure palliative, che assorbono il 20% delle risorse del SSN*. 2022. URL: <https://trendsanita.it/cure-palliative-ssn/> (cit. a p. 29).
- [30] Rivista italiana di cure palliative 2019. *Complessità e cure palliative* (cit. a p. 29).
- [31] Federazione Cure Palliative. *Cure Palliative Domiciliari*. URL: <https://www.fedcp.org/cure-palliative/domiciliari/cosa-sono> (cit. a p. 30).
- [32] AGENAS. *Risultati dell'analisi dei piani di potenziamento delle cure palliative per le Regioni e lo stato di attuazione riferite all'anno 2024*. 2024. URL: https://www.agenas.gov.it/images/agenas/RETI/territorio/cp/Report_Risultati_analisi_Piani_Pot_cp_2024.pdf (cit. a p. 33).
- [33] Federazione Cure Palliative. *Struttura ed organizzazione di una unità di cure palliative e definizione dei criteri di eleggibilità per la presa in carico dei malati* (cit. a p. 34).
- [34] Azienda Sanitaria Locale "Città di Torino". URL: <https://www.aslcittaditorino.it/strutture/ss-distribuzione-diretta-farmaci/?f=864&t=d> (cit. a p. 40).
- [35] Atto Aziendale dell'ASL Città di Torino. *Deliberazione 0001080/01.00/2024 del 05/08/2024*. 2024. URL: <https://www.aslcittaditorino.it/wp-content/uploads/2025/03/Delibera-1080-del-5-agosto-2024.pdf?x24436> (cit. a p. 40).

- [36] Convenzione tra l'ASL Città di Torino e la Fondazione Assistenza Ricerca Oncologica FARO ETS per il servizio di assistenza domiciliare dei pazienti con bisogni complessi di cure palliative – CIG N. Z213DA7681. 2023. URL: <https://fondazionefaro.it/wp-content/uploads/2025/07/Convenzione-FARO-riv-signed.pdf> (cit. a p. 40).
- [37] Decreto Legislativo n. 502/1992 e Diritto Sociosanitario. URL: <https://ldal.egal.it/decreto-legislativo-n-502-1992-e-diritto-sociosanitario/> (cit. a p. 40).
- [38] Norme di sostegno e promozione degli enti del terzo settore piemontese Regione Piemonte: LR 7/2024. URL: <https://www.welforum.it/segnalazioni/regione-piemonte-lr-7-2024-norme-di-sostegno-e-promozione-degli-enti-del-terzo-settore-piemontese/> (cit. a p. 40).
- [39] *Farmaci a domicilio a Torino, tutti i servizi disponibili*. URL: <https://take-mythings.com/tutti-servizi-la-consegna-farmaci-domicilio-torino/> (cit. a p. 41).
- [40] HPS-AboutPharma. *Distribuzione diretta dei farmaci, come la digitalizzazione migliora anche la logistica*. URL: <https://www.aboutpharma.com/aziende/asl-di-torino-farmaci-ospedalieri-hackathon-distribuzione-diretta-farmaci-digitalizzato/> (cit. a p. 42).
- [41] Codice Deontologico del Farmacista. URL: https://ordinefarmacistiis.it/wp-content/uploads/2022/03/Codice_Deontologico.pdf (cit. a p. 42).
- [42] Farma Tutela. *Consegna a domicilio di farmaci: luci e ombre di un settore non regolamentato*. URL: <https://www.farmatutela.com/2024/02/04/consegna-farmaci-a-domicilio/> (cit. a p. 42).
- [43] Art. 56 CTS. URL: https://www.codiceappalti.it/DLGS_117_2017/Art_56_Convenzioni/10054 (cit. a p. 42).
- [44] ASL Città di Torino. *Avviso pubblico per la consegna domiciliare dei farmaci*. 2023. URL: <https://www.aslcittaditorino.it/wp-content/uploads/2023/12/avvisoconsegnafarmaci.pdf> (cit. a p. 42).
- [45] Paulo M. França, Michel Gendreau, Gilbert Laporte e Felipe M. Müller. «The m -Traveling Salesman Problem with Minmax Objective». In: *Transportation Science* 29.3 (ago. 1995). DOI: 10.1287/trsc.29.3.267 (cit. a p. 77).
- [46] Anda Buinoschi-Tirpescu e Mihaela Elena Breabăn. «Solving Min-Max MTSP in a Reinforcement Learning context». In: *Procedia Computer Science* 246 (2024). 28th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2024). DOI: 10.1016/j.procs.2024.09.519 (cit. a p. 119).
- [47] Bodo Manthey. «Multi-Criteria TSP: Min and Max Combined». In: *Approximation and Online Algorithms (WAOA 2009)*. A cura di Evripidis Bampis e Klaus Jansen. Vol. 5893. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-12450-1_19 (cit. a p. 119).
- [48] Zuzana Borčinová. «Two models of the capacitated vehicle routing problem». In: *Croatian Operational Research Review* 8 (2017). DOI: 10.17535/crorr.2017.0029 (cit. a p. 119).

Appendice A

Codice dell'applicazione - *APP.py*

Si riporta il codice completo dell'applicazione sviluppata in Python, comprensivo di tutte le funzionalità.

A.1 Setup e import

La prima sezione riguarda il caricamento di tutte le librerie necessarie (Streamlit, OR-Tools, Folium, Requests, ecc.), la definizione dei percorsi delle cartelle data/input e data/output, delle costanti per connettersi a OSRM e Nominatim e della funzione che salva ogni Excel caricato con il nome della data corrente.

```
1 # =====
2 # FARO-Routing: Ottimizzazione home delivery farmaci per FARO ETS
3 # Autore: [Rachele Dottarelli]
4 # Descrizione: Applicazione Streamlit per il problema del Multi-Traveling
5 #               Salesman Problem (M-TSP) applicato alla distribuzione di farmaci
6 #               a domicilio sul territorio torinese.
7 # Tecnologie: OR-Tools (Google), OSRM, Nominatim (OpenStreetMap), Folium
8 # =====
9
10 # --- Librerie standard Python ---
11 import re           # Espressioni regolari per pulizia testo
12 import time        # Pausa tra richieste API (rate limiting)
13 import os          # Accesso alle variabili d'ambiente
14 from pathlib import Path      # Gestione percorsi file cross-platform
15 from datetime import datetime # Timestamp per nomi file
16 from io import BytesIO       # Buffer in memoria per immagini QR
17 from urllib.parse import quote # Codifica URL per Google Maps
18
19 # --- Librerie di terze parti ---
20 import requests      # Chiamate HTTP verso OSRM e Nominatim
21 import pandas as pd # Manipolazione dati tabellari (Excel, DataFrame)
22 import streamlit as st # Framework per l'interfaccia web
23 import folium       # Generazione mappe interattive (Leaflet.js)
24 from streamlit_folium import st_folium # Integrazione Folium in Streamlit
25
```

```
26 # --- QR-Tools: risolutore di ottimizzazione combinatoria (Google) ---
27 from ortools.constraint_solver import pywrapcp, routing_enums_pb2
28
29 # --- Libreria QR code (opzionale) ---
30 try:
31     import qrcode
32     QR_AVAILABLE = True # QR code disponibile
33 except ImportError:
34     QR_AVAILABLE = False # Continua senza QR code
35
36 # =====
37 # PERCORSI CARTELLE DEL PROGETTO
38 # =====
39 # BASE_DIR punta alla radice del progetto (cartella padre di /app)
40 BASE_DIR = Path(__file__).resolve().parents[1] # es. .../FARO-Routing
41 INPUT_DIR = BASE_DIR / "data" / "input" # Excel caricati dall'utente
42 OUTPUT_DIR = BASE_DIR / "data" / "output" # Statistiche CSV esportate
43 # Crea le cartelle se non esistono (parents=True crea anche le cartelle padre)
44 INPUT_DIR.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
45 OUTPUT_DIR.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
46
47 def save_uploaded_excel(uploaded_file) -> Path:
48     """
49     Salva l'Excel caricato in data/input con nome = data del giorno.
50     Se esiste già, aggiunge _2, _3, ...
51     """
52     today = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d")
53     base = INPUT_DIR / f"{today}.xlsx"
54     dest = base
55     k = 2
56     while dest.exists():
57         dest = INPUT_DIR / f"{today}_{k}.xlsx"
58         k += 1
59     dest.write_bytes(uploaded_file.getvalue())
60     return dest
61
62
63 # =====
64 # CONFIGURAZIONE
65 # =====
66 # URL base del server OSRM per il calcolo delle distanze stradali reali.
67 # In produzione (Docker Compose) viene sovrascritto dalla variabile d'ambiente
68 # OSRM_BASE impostata nel docker-compose.yml (es. http://osrm-backend:5000).
69 OSRM_BASE = os.getenv("OSRM_BASE", "http://localhost:5000")
70
71 # Nominatim è il geocoder open-source di OpenStreetMap.
72 # Converte indirizzi testuali in coordinate geografiche (lat, lon).
73 NOMINATIM_URL = "https://nominatim.openstreetmap.org/search"
74 NOMINATIM_HEADERS = {
75     "User-Agent": "FARO-Routing/1.0" # Identificativo obbligatorio per le API
76     Nominatim
77 }
```

content/Appendici/Setup.py

A.2 Geocodifica Nominatim

La presente sezione di codice interroga il servizio Nominatim di OpenStreetMap, che prende in input un indirizzo testuale e restituisce coordinate geografiche (*lat*, *lon*). *Nominatim_query* restituisce il risultato migliore per un indirizzo, mentre *nominatim_query_multi* ne restituisce fino a dieci, necessari per raccogliere più civici della stessa via e poter successivamente farne l'interpolazione (qualora il civico non venga immediatamente localizzato).

```

1 # =====
2 # GEOCODIFICA CON NOMINATIM (OpenStreetMap)
3 # =====
4 # La geocodifica converte un indirizzo testuale in coordinate geografiche.
5 # Si usa il servizio gratuito Nominatim di OpenStreetMap.
6 # Il bounding box (viewbox) limita la ricerca all'area di Torino e provincia.
7
8 @st.cache_data(show_spinner=False)
9 def nominatim_query(q: str):
10     """
11     Interroga Nominatim restituendo un solo risultato (il migliore).
12     Usata come fallback e per retrocompatibilità.
13
14     Args:
15     q: stringa di ricerca (es. "Via Roma 1, Torino")
16     Returns:
17     Tupla (lat, lon) o (None, None) se non trovato
18     """
19     params = {
20         "q": q,
21         "format": "json",
22         "limit": 1,                # Un solo risultato
23         "countrycodes": "it",     # Limita all'Italia
24         "viewbox": "7.4,45.2,7.95,44.9", # Bounding box Torino
25         "addressdetails": 1,     # Includi dettagli indirizzo
26     }
27     r = requests.get(NOMINATIM_URL, params=params, headers=NOMINATIM_HEADERS,
28                     timeout=30)
29     if not r.ok:
30         return None, None
31     j = r.json()
32     if not j:
33         return None, None
34     return float(j[0]["lat"]), float(j[0]["lon"])
35
36 @st.cache_data(show_spinner=False)
37 def nominatim_query_multi(q: str, limit=10, _v=3):
38     """
39     Interroga Nominatim restituendo più risultati.
40     Usata per l'interpolazione del numero civico: raccogliendo più
41     risultati per la stessa via, si può stimare la posizione di un
42     civico non presente nel database per interpolazione lineare.
43
44     Args:
45     q: stringa di ricerca
46     limit: numero massimo di risultati (default 10)

```

```

46     _v:    versione cache (incrementare per invalidare la cache)
47 Returns:
48     Lista di dizionari JSON Nominatim, o lista vuota
49 """
50 params = {
51     "q": q,
52     "format": "json",
53     "limit": limit,
54     "countrycodes": "it",
55     "viewbox": "7.4,45.2,7.95,44.9",
56     "addressdetails": 1,
57 }
58 try:
59     r = requests.get(NOMINATIM_URL, params=params, headers=NOMINATIM_HEADERS,
60                     timeout=30)
61     if r.ok:
62         return r.json()
63 except:
64     pass
65 return []

```

content/Appendici/Geocoding.py

A.3 OSRM snap-to-road

Un problema ricorrente è che le coordinate puntano spesso al centroide dell'edificio, che può essere su un marciapiede, in un cortile, o in mezzo ad un palazzo. Questa criticità viene risolta grazie a questa sezione di codice, che prendono le coordinate restituite da Nominatim e le "agganciano" al punto più vicino sulla rete stradale reale, usando l'API /nearest di OSRM. Si evita, in questo modo, che i *marker* finiscano su edifici o cortili invece che sulla carreggiata, dove un'auto può effettivamente passare e sostare.

```

1 def osrm_snap_to_road(lat, lon):
2     """
3     Corregge le coordinate geocodificate agganciandole al punto più vicino
4     sulla rete stradale, usando l'API /nearest di OSRM.
5     Questo evita che i marker finiscano su edifici o aree pedonali.
6
7     Args:
8         lat, lon: coordinate originali da Nominatim
9     Returns:
10    Coordinate corrette (lat, lon) sul grafo stradale,
11    oppure le coordinate originali in caso di errore
12    """
13    try:
14        url = f"{OSRM_BASE}/nearest/v1/driving/{lon},{lat}"
15        r = requests.get(url, params={"number": 1}, timeout=5)
16        if r.ok:
17            data = r.json()
18            if data.get("code") == "Ok" and data.get("waypoints"):
19                wp = data["waypoints"][0]

```

```

20         return wp["location"][1], wp["location"][0] # restituisce lat,
lon
21     except:
22         pass
23     return lat, lon # Fallback: coordinate originali invariate

```

content/Appendici/OSRM.py

A.4 Geocodifica avanzata a 3 fasi

Questa sezione di codice è il cuore del modulo di geocodifica: prima estrae il numero civico dall'indirizzo, poi tenta di trovarlo esatto su Nominatim con varianti semplificate (es. da "52 B" a "52"). Se non lo trova, il codice stima la posizione per interpolazione lineare tra i civici vicini. Come ultima risorsa, usa il centro della via. In tutti i casi chiama OSRM snap-to-road alla fine.

```

1 def extract_house_number_from_address(addr):
2     """
3     Estrae il primo numero civico trovato nella stringa indirizzo.
4     Usato per identificare il civico target durante la geocodifica.
5
6     Returns:
7         Intero con il numero civico, o None se non trovato
8     """
9     match = re.search(r'\b(\d+)\b', addr)
10    return int(match.group(1)) if match else None
11
12 def interpolate_house_number(target_number, results):
13     """
14     Stima la posizione di un civico mancante per interpolazione lineare.
15
16     Algoritmo:
17     1. Raccoglie tutti i civici trovati da Nominatim con le loro coordinate
18     2. Ordina per numero civico
19     3. Trova il civico immediatamente inferiore e superiore al target
20     4. Calcola la posizione intermedia proporzionalmente
21
22     Esempio: civico 15 non trovato, ma trovati 12 e 18
23             posizione stimata a 50% tra i due.
24
25     Args:
26         target_number: numero civico da stimare
27         results: lista di risultati Nominatim con campo 'address'
28     Returns:
29         Tupla (lat, lon) interpolata, o (None, None) se impossibile
30     """
31    with_numbers = []
32    for r in results:
33        house_num = r.get("address", {}).get("house_number")
34        if house_num:
35            try:
36                num = int(re.search(r'\d+', house_num).group())
37                with_numbers.append((num, float(r["lat"]), float(r["lon"])))

```

```
38         except:
39             pass
40
41     if len(with_numbers) < 2: # Servono almeno 2 punti per interpolare
42         return None, None
43
44     with_numbers.sort(key=lambda x: x[0]) # Ordina per numero civico
45
46     lower = None # Civico inferiore al target
47     upper = None # Civico superiore al target
48
49     for num, lat, lon in with_numbers:
50         if num < target_number:
51             lower = (num, lat, lon)
52         elif num > target_number and upper is None:
53             upper = (num, lat, lon)
54         break
55
56     if lower and upper:
57         lower_num, lower_lat, lower_lon = lower
58         upper_num, upper_lat, upper_lon = upper
59         # Calcolo del rapporto di interpolazione lineare
60         ratio = (target_number - lower_num) / (upper_num - lower_num)
61         interp_lat = lower_lat + ratio * (upper_lat - lower_lat)
62         interp_lon = lower_lon + ratio * (upper_lon - lower_lon)
63         return interp_lat, interp_lon
64
65     return None, None
66
67 @st.cache_data(show_spinner=False)
68 def geocode_one_address(address: str):
69     """
70     Geocodifica avanzata a 3 fasi per massimizzare la precisione.
71
72     FASE 1 - Corrispondenza esatta:
73     Genera varianti semplificate dell'indirizzo (es. rimuove lettere
74     dopo il civico: "52 B" "52") e cerca il civico esatto.
75
76     FASE 2 - Interpolazione:
77     Se il civico non è trovato, stima la posizione per interpolazione
78     lineare tra i civici vicini trovati sulla stessa via.
79
80     FASE 3 - Fallback:
81     Restituisce il primo risultato disponibile (centro della via),
82     anche senza civico preciso.
83
84     In tutti i casi, le coordinate finali vengono corrette con
85     osrm_snap_to_road() per agganciarle alla rete stradale.
86
87     Args:
88         address: stringa indirizzo (già pulita o grezza)
89     Returns:
90         Tupla (lat, lon) o (None, None) se geocodifica fallisce
91     """
92     if not address or not str(address).strip():
93         return None, None
```

```
94
95 a = clean_address(address) # Normalizza l'indirizzo
96 target_house_num = extract_house_number_from_address(a)
97
98 # Genera varianti semplificate per aumentare le probabilità di match
99 address_variants = [
100     a, # Originale (es. "Corso Francia 52 B, Torino")
101     re.sub(r'\b(\d+)\s*[A-Z]\b', r'\1', a, flags=re.IGNORECASE), # "52 B"
102     "52"
103     re.sub(r'\b(\d+)/\d+\b', r'\1', a), # "280/3"
104     "280"
105     re.sub(r'\b(\d+)\s*[A-Z]\b', r'\1', re.sub(r'\b(\d+)/\d+\b', r'\1', a),
106     flags=re.IGNORECASE),
107     re.sub(r'(?i)\b(\d+)\s*(bis|ter|quater)\b', r'\1', a), # "16 bis"
108     "16"
109 ]
110 # Rimuovi duplicati mantenendo l'ordine di priorità
111 seen = set()
112 address_variants = [v for v in address_variants if v not in seen and not seen
113     .add(v)]
114
115 # FASE 1: Cerca il civico ESATTO in tutte le varianti
116 all_results = {} # Dizionario variante lista risultati Nominatim
117 for variant in address_variants:
118     results = nominatim_query_multi(variant, limit=10)
119     if results:
120         all_results[variant] = results
121         # Confronta il numero civico di ogni risultato con il target
122         for r in results:
123             house_num = r.get("address", {}).get("house_number")
124             if house_num and target_house_num:
125                 try:
126                     num = int(re.search(r'\d+', house_num).group())
127                     if num == target_house_num: # Corrispondenza esatta!
128                         lat, lon = float(r["lat"]), float(r["lon"])
129                         return osrm_snap_to_road(lat, lon)
130                 except:
131                     pass
132
133 # FASE 2: INTERPOLAZIONE del civico mancante
134 if target_house_num and all_results:
135     for variant in address_variants:
136         if variant in all_results:
137             interp_lat, interp_lon = interpolate_house_number(
138                 target_house_num, all_results[variant]
139             )
140             if interp_lat:
141                 return osrm_snap_to_road(interp_lat, interp_lon)
142
143 # FASE 3: FALLBACK - primo risultato disponibile (centro via)
144 if all_results:
145     first_variant = next(iter(all_results))
146     first_results = all_results[first_variant]
147     lat, lon = float(first_results[0]["lat"]), float(first_results[0]["lon"])
148     return osrm_snap_to_road(lat, lon)
```

```
145 return None, None # Geocodifica completamente fallita
```

content/Appendici/3fasi.py

A.5 Pulizia e *parsing* indirizzi Excel

Le celle Excel di FARO contengono testo misto: nome paziente, indirizzo, numero di telefono, note di consegna. Questa sezione definisce le espressioni regolari e le funzioni per separare e pulire tutto: rimuove telefoni, numeri riferiti alla scala o al piano dell'edificio, parole non geografiche, espande abbreviazioni ("v." → "via"), corregge errori di battitura e infine separa il nome del paziente dall'indirizzo. La funzione *load_dirty_excel* orchestra il tutto leggendo il file Excel.

```

1 # =====
2 # PULIZIA E PARSING DEGLI INDIRIZZI DAL FILE EXCEL
3 # =====
4 # I file Excel di FARO contengono celle "sporche": nome del paziente,
5 # indirizzo, note e numeri di telefono sono spesso mescolati nella stessa cella.
6 # Queste espressioni regolari e funzioni estraggono e normalizzano i dati.
7
8 # Riconosce i prefissi stradali per separare nome paziente da indirizzo
9 STREET_RE = re.compile(
10     r"(?i)\b("
11     r"via|v\.|vai\.|viale|v\.|le|corso|c\.|so|cso|"
12     r"strada|str\.|strda|piazza|p\.|za|largo|vicolo"
13     r")\b"
14 )
15
16 ORDINAL_RE = re.compile(r"\b\d+\s*[°°]\b", re.IGNORECASE) #
17     Rimuove ordinali ("1°")
18 TRAILING_AFTER_CITY_RE = re.compile(r"(?i)\btorino\s+(\d{1,2}|\d+\s*[°°])\s*$") #
19     "Torino 2°" "Torino"
20 TRAILING_WORD_RE = re.compile(r"(?i)\s+\b(in|da|presso)\b\s*$")
21     # Rimuove preposizioni finali
22 NORD_SUD_RE = re.compile(r"(?i)\b(nord|sud)\b")
23     # Rimuove "nord"/"sud"
24
25 # Correzione di errori di battitura comuni negli indirizzi
26 COMMON_TYPOS = {
27     "totino": "torino",
28     "beulard": "beaulard",
29     "mullaures": "millaures",
30 }
31
32 # Riconosce numeri di telefono italiani (8-11 cifre, con o senza +39)
33 PHONE_RE = re.compile(r"(\\+?39\s)?\b\d{8,11}\b")
34
35 # Rimuove tutto ciò che segue parole-chiave non geografiche
36 # (scale, piani, note di consegna, relazioni familiari, ecc.)
37 JUNK_WORDS_RE = re.compile(
38     r"(?i)\b("
39     r"tel|cell|telefono|chiamare|"
40     r"campanello|citofono|tasto|scala|sc\.|?|piano|interno|int\.|?"

```

```

37     r"cod|cod\.|codice|"
38     r"amica|amico|figlio|figlia|moglie|marito|nipote|sorella|fratello|"
39     r"richiesta|gg|giorni|"
40     r"zona|ztl|condominio|dietro|vicino|hospice|"
41     r"bassa\s+intensita|alta\s+intensita"
42     r")\b.*$"
43 )
44
45 # Normalizza le zone di Torino ("TO NORD", "Torino Sud", ecc.) in "Torino"
46 ZONE_RE = re.compile(r"\b(to\s*nord|to\s*sud|torino\s*nord|torino\s*sud)\b", re.
47     IGNORECASE)
48 # Rimuove punteggiatura e spazi finali
49 TRAILING_GARBAGE_RE = re.compile(r"[\.,;:\-\\s]*$")
50
51 def clean_text(s: str) -> str:
52     """
53     Normalizzazione base del testo: rimuove spazi multipli e caratteri
54     non-breaking space (\u00a0) che spesso compaiono nei file Excel.
55     """
56     s = "" if s is None else str(s)
57     s = s.replace("\u00a0", " ") # Non-breaking space -> spazio normale
58     s = re.sub(r"\s+", " ", s).strip() # Collassa spazi multipli
59     return s
60
61 def clean_address(addr: str, default_city="Torino") -> str:
62     """
63     Pulisce e normalizza una stringa indirizzo per la geocodifica.
64     Applica in sequenza:
65     - Rimozione di parentesi e contenuto
66     - Espansione abbreviazioni stradali (v. -> via, c.so -> corso)
67     - Correzione errori di battitura
68     - Rimozione parole non geografiche (telefoni, scale, note)
69     - Normalizzazione zone (TO NORD -> Torino)
70     - Aggiunta città di default se assente
71     """
72     addr = clean_text(addr)
73
74     addr = re.sub(r"\([^\)]*\)", " ", addr) # Rimuove contenuto tra parentesi
75
76     # Espansione abbreviazioni stradali
77     addr = re.sub(r"(?i)\bvia\.\s*", "via ", addr)
78     addr = re.sub(r"(?i)\bv\.\s*", "via ", addr)
79     addr = re.sub(r"(?i)\bvai\.\s*", "via ", addr)
80     addr = re.sub(r"(?i)\bstrda\b", "strada", addr)
81
82     # Correzione errori di battitura
83     for wrong, right in COMMON_TYPOS.items():
84         addr = re.sub(fr"(?i)\b{re.escape(wrong)}\b", right, addr)
85
86     addr = JUNK_WORDS_RE.sub("", addr) # Rimuove note e parole non geografiche
87     addr = ZONE_RE.sub("Torino", addr) # Normalizza zone (da TO NORD a Torino)
88     addr = NORD_SUD_RE.sub(" ", addr) # Rimuove "nord"/"sud" residui
89
90     # Pulizia punteggiatura
91     addr = re.sub(r"\s*,\s*,\s*", ", ", addr)

```

```
92     addr = re.sub(r"\s+", " ", addr)
93     addr = re.sub(r"\.?cell\.\s*\d+", "", addr, flags=re.IGNORECASE)
94     addr = PHONE_RE.sub("", addr)          # Rimuove numeri di telefono
95     addr = ORDINAL_RE.sub("", addr)       # Rimuove ordinali
96
97     # Pulizia finale
98     addr = re.sub(r"\s+", " ", addr).strip()
99     addr = addr.replace(" ,", ",").replace(", ", ",")
100    addr = TRAILING_GARBAGE_RE.sub("", addr).strip()
101    addr = TRAILING_AFTER_CITY_RE.sub("Torino", addr).strip()
102    addr = TRAILING_WORD_RE.sub("", addr).strip()
103
104    # Aggiunge la città di default se non presente
105    if re.search(r"\btorino\b", addr, flags=re.IGNORECASE) is None:
106        addr = f"{addr}, {default_city}"
107
108    return addr
109
110 def normalize_for_split(s: str) -> str:
111     """
112     Normalizzazione leggera per la fase di split nome/indirizzo.
113     Espande solo le abbreviazioni stradali, senza rimuovere testo.
114     """
115     s = clean_text(s)
116     s = re.sub(r"(?i)\bvai\.\s*", "via ", s)
117     s = re.sub(r"(?i)\bv\.\s*", "via ", s)
118     s = re.sub(r"(?i)\bstrda\b", "strada", s)
119     s = re.sub(r"(?i)\bc\.\so\b|\bcso\b", "corso", s)
120     s = re.sub(r"(?i)\bp\.\za\b", "piazza", s)
121     return s
122
123 def extract_name_and_address(cell: str, default_city="Torino") -> tuple[str, str]:
124     """
125     Separa il nome del paziente dall'indirizzo in una cella Excel mista.
126
127     Strategia: cerca il primo prefisso stradale (via, corso, piazza...)
128     e usa la sua posizione come punto di divisione:
129     - Testo PRIMA del prefisso = nome del paziente
130     - Testo DAL prefisso in poi = indirizzo (poi pulito con clean_address)
131
132     Esempio: "Mario Rossi via Roma 5 tel 333..." ("Mario Rossi", "Via Roma 5,
133     Torino")
134
135     Returns:
136         Tupla (nome, indirizzo) entrambi come stringhe pulite
137     """
138     s = normalize_for_split(cell)
139     if not s:
140         return "", ""
141
142     s = PHONE_RE.sub(" ", s)          # Rimuove numeri di telefono
143     s = re.sub(r"\s+", " ", s).strip()
144
145     m = STREET_RE.search(s)          # Cerca il primo prefisso stradale
146     if not m:
```

```

146     # Nessun prefisso trovato: tutta la cella è trattata come indirizzo
147     return "", f"{s}, {default_city}"
148
149     idx = m.start()           # Posizione del prefisso stradale
150     name_part = clean_text(s[:idx]) # Tutto prima del prefisso = nome
151     addr_part = clean_text(s[idx:]) # Dal prefisso in poi = indirizzo
152
153     # Tronca l'indirizzo alla prima parola-chiave non geografica
154     addr_part = re.split(r"\b(marito|moglie|figlio|figlia|note|tel|cell)\b", addr
155     _part, flags=re.IGNORECASE)[0]
156     addr_part = clean_text(addr_part)
157
158     # Normalizza abbreviazioni di Torino
159     addr_part = addr_part.replace("TO NORD", "TO").replace("To Nord", "TO")
160     addr_part = addr_part.replace(",TO", ", TO")
161     addr_part = re.sub(r"\bTO\b", "Torino", addr_part, flags=re.IGNORECASE)
162
163     addr_part = clean_address(addr_part, default_city=default_city)
164     return name_part, addr_part
165
166 def load_dirty_excel(xlsx_file) -> pd.DataFrame:
167     """
168     Carica un file Excel "sporco" e lo converte in un DataFrame strutturato.
169
170     Legge tutte le colonne del foglio (senza header), concatena tutti i valori
171     non-nulli in una lista piatta, poi applica extract_name_and_address a
172     ciascuno.
173     Scarta le celle senza indirizzo riconoscibile.
174
175     Returns:
176     DataFrame con colonne: raw (testo originale), name (paziente), address (
177     indirizzo)
178     """
179     raw = pd.read_excel(xlsx_file, header=None) # Legge senza assumere
180     intestazioni
181     values = []
182     for col in raw.columns:
183         # Appiattisce tutte le colonne in una lista unica di stringhe
184         values.extend(raw[col].dropna().astype(str).tolist())
185
186     rows = []
187     for v in values:
188         v = clean_text(v)
189         if not v:
190             continue
191         name, addr = extract_name_and_address(v)
192         if addr: # Accetta solo celle con indirizzo riconoscibile
193             rows.append({"raw": v, "name": name if name else "Consegna", "address
194             ": addr})
195     return pd.DataFrame(rows)

```

content/Appendici/Pulizia.py

A.6 Matrice dei costi

La presente sezione calcola i costi necessari a costruire la funzione obiettivo del modello. La funzione definita interroga l'API Table di OSRM per ottenere le matrici simmetriche contenenti le distanze e i tempi tra tutti i nodi di consegna di una giornata (file Excel). La seconda funzione combina le due matrici in un unico valore intero normalizzato – formato richiesto da OR-Tools –, usando una media pesata configurabile tra chilometri e minuti.

```

1 # =====
2 # CALCOLO DISTANZE, TEMPI E MATRICE DEI COSTI (OSRM)
3 # =====
4
5 def osrm_table(coords_lonlat):
6     """
7     Interroga l'API /table di OSRM per ottenere la matrice completa
8     di distanze (metri) e tempi di percorrenza (secondi) tra tutti i nodi.
9
10    OSRM usa la rete stradale reale (non distanza euclidea), garantendo
11    stime accurate per il routing su strada.
12
13    Args:
14        coords_lonlat: lista di tuple (lon, lat) per ogni nodo
15    Returns:
16        Tupla (distances, durations): due matrici nxn
17    """
18    coord_str = ";".join([f"{lon},{lat}" for lon, lat in coords_lonlat])
19    url = f"{OSRM_BASE}/table/v1/driving/{coord_str}?annotations=distance,
20    duration"
21    r = requests.get(url, timeout=60)
22    r.raise_for_status() # Lancia eccezione se la risposta non è 200 OK
23    data = r.json()
24    return data["distances"], data["durations"]
25
26 def build_cost(dist_m, dur_s, w_km=0.8, w_time=0.2):
27     """
28     Costruisce la matrice dei costi normalizzata per OR-Tools.
29
30     Combina distanza e tempo in un unico valore intero scalato,
31     usando una media pesata normalizzata:
32         costo(i,j) = 100000 * (w_km * km_norm + w_time * t_norm)
33
34     La normalizzazione (divisione per il massimo) rende i due contributi
35     comparabili indipendentemente dalle unità di misura.
36     OR-Tools richiede costi interi, quindi si moltiplica per 100000.
37
38     Args:
39         dist_m: matrice distanze in metri
40         dur_s: matrice durate in secondi
41         w_km: peso della distanza (default 0.8)
42         w_time: peso del tempo (default 0.2)
43     Returns:
44         Matrice nxn di interi (costi per OR-Tools)
45     """
46     n = len(dist_m)

```

```

46     cost = [[0] * n for _ in range(n)]
47
48     # Valori massimi per la normalizzazione
49     max_km = max(max(row) for row in dist_m) / 1000.0
50     max_t = max(max(row) for row in dur_s) / 60.0
51     if max_km == 0: max_km = 1.0 # Evita divisione per zero
52     if max_t == 0: max_t = 1.0
53
54     for i in range(n):
55         for j in range(n):
56             if i != j and dist_m[i][j] is not None and dur_s[i][j] is not None:
57                 km = dist_m[i][j] / 1000.0
58                 t = dur_s[i][j] / 60.0
59                 # Costo combinato normalizzato, scalato a intero
60                 cost[i][j] = int(100000 * (w_km * (km / max_km) + w_time * (t /
max_t)))
61     return cost

```

content/Appendici/Matrix.py

A.7 Output per la navigazione

Tra le esigenze riscontrate dei volontari FARO rientra la possibilità di utilizzare uno strumento a supporto della navigazione che sia automaticamente impostato sul percorso giornaliero. A questo proposito, questa sezione genera i link Google Maps per ogni veicolo, inserendo come tappe le consegne nell'ordine assegnato dal solver. Il link apre direttamente la navigazione passo-passo sul telefono partendo dalla posizione GPS corrente. Genera anche un QR code per facilitare la condivisione dei link con i volontari.

```

1  # =====
2  # GENERAZIONE LINK GOOGLE MAPS
3  # =====
4  def build_gmaps_links_v2(coords_lonlat, node_path, node_addresses=None, vehicles
=2, travelmode="driving"):
5      """
6      Genera un link Google Maps per la navigazione passo-passo del veicolo.
7
8      Il link include SOLO le consegne (delivery nodes), nell'ordine assegnato
9      dal solver. Deposito e checkpoint NON sono inclusi come tappe, poiché
10     il volontario parte già dal checkpoint con i colli in auto.
11
12     Non viene specificata l'origine: Google Maps userà automaticamente
13     la posizione GPS corrente del telefono come punto di partenza.
14
15     Struttura URL Google Maps:
16     https://www.google.com/maps/dir/?api=1
17         &destination=<ultima_tappa>
18         &waypoints=<tappa1>|<tappa2>|...
19         &travelmode=driving
20
21     Args:
22     coords_lonlat: lista di tuple (lon, lat) per ogni nodo

```

```
23     node_path:      percorso del veicolo (lista di indici nodo)
24     node_addresses: lista di indirizzi testuali (più precisi delle coordinate
)
25     vehicles:      numero di veicoli (per identificare i nodi checkpoint:
1..vehicles)
26     travelmode:    modalità di viaggio (default: driving)
27 Returns:
28     Lista con un singolo URL Google Maps
29     """
30 def get_point(node):
31     # Preferisce l'indirizzo testuale (più preciso per i civici)
32     if node_addresses is not None and node < len(node_addresses):
33         return node_addresses[node]
34     # Fallback sulle coordinate geografiche
35     lon, lat = coords_lonlat[node]
36     return f"{lat},{lon}"
37
38 # Filtra solo i nodi delivery: esclude deposito (0) e checkpoint (1..vehicles
)
39 delivery_nodes = [n for n in node_path if n > vehicles]
40
41 if not delivery_nodes:
42     return []
43
44 points = [get_point(n) for n in delivery_nodes]
45
46 if len(points) == 1:
47     # Una sola consegna: destination = quella consegna
48     url = f"https://www.google.com/maps/dir/?api=1&destination={quote(points
[0])}&travelmode=driving"
49 else:
50     # Più consegne: destination = ultima, waypoints = tutte le precedenti
51     destination = points[-1]
52     waypoints = points[:-1] # Dalla prima alla penultima
53     url = f"https://www.google.com/maps/dir/?api=1&destination={quote(
destination)}&waypoints={quote(''.join(waypoints))}&travelmode=driving"
54
55     return [url]
56
57
58 def generate_qr_code(url):
59     """
60     Genera un QR code per un URL Google Maps.
61     Il QR code permette ai volontari di scansionare il link con il telefono
62     senza doverlo digitare manualmente.
63
64     Returns:
65     Buffer BytesIO con l'immagine PNG del QR code, o None se non disponibile
66     """
67     if not QR_AVAILABLE:
68         return None
69
70     qr = qrcode.QRCode(
71         version=1,
72         error_correction=qrcode.constants.ERROR_CORRECT_L,
73         box_size=10,
```

```

74     border=4,
75     )
76     qr.add_data(url)
77     qr.make(fit=True)
78     img = qr.make_image(fill_color="black", back_color="white")
79     buf = BytesIO()
80     img.save(buf, format="PNG")
81     buf.seek(0)
82     return buf

```

content/Appendici/OutputNavigazione.py

A.8 Risolutore M-TSP (OR-Tools)

La presente parte di codice implementa il modello di ottimizzazione, con la possibilità di selezionare da interfaccia la funzione obiettivo da risolvere (min-max M-TSP oppure min-sum M-TSP). Il codice costruisce il grafo, registra la funzione di costo, aggiunge i vincoli di bilanciamento del carico e il vincolo di checkpoint obbligatorio. Infine, risolve con OR-Tools e *Guided Local Search* e restituisce una soluzione dopo un *time limit* impostato di cinque minuti.

```

1  # =====
2  # RISOLUTORE M-TSP CON OR-TOOLS (Google)
3  # =====
4  def solve_mtsps(cost_matrix, vehicles, max_slack, checkpoint_nodes, objective="min
   _max"):
5      """
6      Risolve il problema M-TSP (Multiple Traveling Salesman Problem) con OR-Tools.
7
8      STRUTTURA DEL GRAFO:
9          - Nodo 0:          Deposito (punto di partenza e arrivo di tutti i
   veicoli)
10         - Nodi 1..vehicles: Checkpoint (punto di ritiro colli, obbligatorio per
   ogni veicolo)
11         - Nodi > vehicles: Consegne (indirizzi dei pazienti)
12
13     VINCOLI IMPLEMENTATI:
14         1. Bilanciamento del carico: ogni veicolo deve effettuare un numero
   di consegne compreso tra [avg - max_slack, avg + max_slack].
15         2. Checkpoint obbligatorio: ogni veicolo deve passare per il proprio
   checkpoint come PRIMA tappa dopo il deposito.
16
17     OBIETTIVI:
18
19         - "min_max": minimizza la rotta più lunga (equità tra veicoli).
20             Implementato con SetGlobalSpanCostCoefficient.
21         - "min_sum": minimizza la somma totale dei costi (efficienza globale).
22             Implementato implicitamente da
23         SetArcCostEvaluatorOfAllVehicles.
24
25     METAEURISTICA:
26         Guided Local Search (GLS) con limite di 300 secondi.
27         Soluzione iniziale: PATH_CHEAPEST_ARC (arco più economico).
28

```

```

29     Args:
30         cost_matrix:    matrice nxn di costi interi (da build_cost)
31         vehicles:      numero di veicoli
32         max_slack:     tolleranza bilanciamento consegne (es. 2 = 2 consegne)
33         checkpoint_nodes: lista di indici nodo per i checkpoint (uno per veicolo)
34         objective:     "min_max" o "min_sum"
35     Returns:
36         Lista di percorsi (una lista di indici nodo per ogni veicolo),
37         o None se nessuna soluzione trovata
38     """
39     n = len(cost_matrix)
40     # Inizializza il gestore degli indici: n nodi, k veicoli, deposito = nodo 0
41     manager = pywrapcp.RoutingIndexManager(n, vehicles, 0)
42     routing = pywrapcp.RoutingModel(manager)
43
44     # Callback che restituisce il costo dell'arco (i, j)
45     def cost_cb(i, j):
46         return cost_matrix[manager.IndexToNode(i)][manager.IndexToNode(j)]
47
48     transit = routing.RegisterTransitCallback(cost_cb)
49     routing.SetArcCostEvaluatorOfAllVehicles(transit) # Minimizza la somma degli
50     archi
51
52     # Dimensione "Cost" per tracciare il costo cumulativo di ogni rotta
53     routing.AddDimension(transit, 0, 10**12, True, "Cost")
54
55     # Scelta dell'obiettivo di ottimizzazione
56     if objective == "min_max":
57         # Min-Max: penalizza la differenza tra la rotta più lunga e la più corta
58         # Il coefficiente 200 bilancia questa penalt  rispetto al costo base
59         routing.GetDimensionOrDie("Cost").SetGlobalSpanCostCoefficient(200)
60     else: # min_sum
61         # Min-Sum: nessuna penalt  aggiuntiva; OR-Tools minimizza gi  la somma
62         pass
63
64     checkpoint_set = set(checkpoint_nodes)
65
66     # Callback "domanda": ogni consegna vale 1, deposito e checkpoint valgono 0
67     def demand(i):
68         node = manager.IndexToNode(i)
69         if node == 0 or node in checkpoint_set:
70             return 0 # Deposito e checkpoint non contano come consegne
71         return 1    # Ogni nodo delivery conta 1
72
73     demand_cb = routing.RegisterUnaryTransitCallback(demand)
74     num_customers = n - 1 - len(checkpoint_nodes) # Totale consegne
75     avg = num_customers // vehicles if vehicles else 0
76     min_clients = max(0, avg - max_slack) # Minimo consegne per veicolo
77     max_clients = avg + max_slack       # Massimo consegne per veicolo
78     # Vincolo di capacit : ogni veicolo pu  fare al massimo max_clients consegne
79     routing.AddDimensionWithVehicleCapacity(demand_cb, 0, [max_clients] *
80     vehicles, True, "Cap")
81
82     # Vincolo di bilanciamento: ogni veicolo deve fare almeno min_clients
83     consegne
84     cap_dim = routing.GetDimensionOrDie("Cap")

```

```

82     for v in range(vehicles):
83         routing.solver().Add(cap_dim.CumulVar(routing.End(v)) >= min_clients)
84         routing.solver().Add(cap_dim.CumulVar(routing.End(v)) <= max_clients)
85
86     # Vincolo checkpoint: ogni veicolo v deve passare per checkpoint_nodes[v]
87     # come PRIMA tappa (immediatamente dopo il deposito)
88     for v in range(vehicles):
89         cp_node = checkpoint_nodes[v]
90         cp_index = manager.NodeToIndex(cp_node)
91         routing.VehicleVar(cp_index).SetValue(v)           # Assegna checkpoint al
veicolo v
92         start = routing.Start(v)
93         routing.solver().Add(routing.NextVar(start) == cp_index) # Prima tappa =
checkpoint
94
95     # Parametri di ricerca
96     params = pywrapcp.DefaultRoutingSearchParameters()
97     params.first_solution_strategy = routing_enums_pb2.FirstSolutionStrategy.PATH
_CHEAPEST_ARC
98     params.local_search_metaheuristic = routing_enums_pb2.
LocalSearchMetaheuristic.GUIDED_LOCAL_SEARCH
99     params.time_limit.seconds = 300 # Limite di 5 minuti per la ricerca
100
101     sol = routing.SolveWithParameters(params)
102     if not sol:
103         return None # Nessuna soluzione trovata
104
105     # Estrae i percorsi dalla soluzione
106     routes = []
107     for v in range(vehicles):
108         idx = routing.Start(v)
109         path = []
110         while not routing.IsEnd(idx):
111             path.append(manager.IndexToNode(idx))
112             idx = sol.Value(routing.NextVar(idx))
113         path.append(0) # Aggiunge il ritorno al deposito
114         routes.append(path)
115     return routes

```

content/Appendici/Risolutore.py

A.9 Interfaccia utente

Questa sezione costruisce tutta l'interfaccia grafica: selezione del numero di veicoli, della funzione obiettivo (min-max o min-sum), dei pesi di distanza/tempo, degli indirizzi di deposito e checkpoint. Gestisce il caricamento dell'Excel, mostra l'anteprima del *parsing*, esegue il *geocoding* con barra di avanzamento, e offre un editor per correggere manualmente gli indirizzi falliti o aggiungere/eliminare consegne.

```

1 # =====
2 # INTERFACCIA UTENTE (Streamlit)
3 # =====
4 # Streamlit esegue questo script dall'alto verso il basso ad ogni interazione.

```

```
5 # Il session_state mantiene i dati tra un'esecuzione e l'altra.
6
7 st.set_page_config(page_title="M-TSP Torino (OR-Tools)", layout="wide")
8 st.title("Ottimizzazione dell'home delivery di farmaci per FARO ETS")
9
10 st.markdown("""
11 Questa app usa OR-Tools (Guided Local Search) con OSRM per distanze reali.
12 Puoi scegliere tra Min-Max (equità tra veicoli) o Min-Sum (efficienza
13 globale).
14 Passaggi da seguire:
15 - selezionare il numero di veicoli e l'obiettivo di ottimizzazione;
16 - controllare gli indirizzi relativi a deposito e checkpoint (punto di ritiro dei
17 colli);
18 - inserire foglio Excel (.xlsx) e cliccare su Geocodifica;
19 - eventualmente correggere manualmente gli indirizzi segnalati e poi cliccare su
20 Calcola rotte.
21 """)
22
23 # --- Inizializzazione del session_state ---
24 # Streamlit re-esegue lo script ad ogni interazione; il session_state
25 # permette di conservare i risultati tra un'esecuzione e l'altra.
26 for k in ["last_routes", "last_map", "gmaps_links", "last_dist_m", "last_dur_s",
27          "last_names", "last_coords", "last_raw_by_node"]:
28     if k not in st.session_state:
29         st.session_state[k] = None
30
31 if "deliveries_df_excel" not in st.session_state:
32     st.session_state["deliveries_df_excel"] = None # DataFrame geocodificato
33     finale
34
35 if "xlsx_sig" not in st.session_state:
36     st.session_state["xlsx_sig"] = None # Hash del file Excel per rilevare
37     cambiamenti
38
39 # Stati per il geocoding "a step" (prima geocodifica, poi correzione falliti)
40 if "geo_ok" not in st.session_state:
41     st.session_state["geo_ok"] = [] # lista di dict ok
42
43 if "geo_fail_df" not in st.session_state:
44     st.session_state["geo_fail_df"] = None # DataFrame falliti (solo raw)
45
46 if "stats_saved_for_run" not in st.session_state:
47     st.session_state["stats_saved_for_run"] = None
48
49 if "last_run_stamp" not in st.session_state:
50     st.session_state["last_run_stamp"] = None
51
52 # --- Pannello di controllo: due colonne affiancate ---
53 col1, col2 = st.columns(2)
54
55 with col1:
56     # Numero di veicoli disponibili per la distribuzione
57     vehicles = st.selectbox("Numero veicoli", [1, 2, 3], index=1)
58     # Tolleranza bilanciamento: con slack=2 e 10 consegne/2 veicoli,
59     # ogni veicolo può fare tra 3 e 7 consegne (5 2)
60     max_slack = st.slider("Scostamento massimo consegne ()", 0, 5, 2) # Default
61     = 2
```

```
55 # Scelta dell'obiettivo di ottimizzazione
56 objective = st.radio(
57     "Obiettivo ottimizzazione (OR-Tools)",
58     options=["min_max", "min_sum"],
59     format_func=lambda x: "Min-Max (equità - minimizza rotta più lunga)" if x
60     == "min_max" else "Min-Sum (efficienza - minimizza totale km)",
61     index=0 # Default: Min-Max (equità tra volontari)
62 )
63
64 # Pesi per la funzione di costo: w_km + w_time = 1.0
65 w_km = st.slider("Peso km", 0.0, 1.0, 0.8, 0.05)
66 w_time = 1.0 - w_km # Il peso del tempo è il complemento del peso km
67
68 with col2:
69     st.markdown("### Deposito e Checkpoint")
70     # Toggle: inserimento per indirizzo (geocodificato) o per coordinate dirette
71     use_coords = st.toggle("Inserisco coordinate (lat/lon) invece di indirizzo",
72                             value=False)
73
74     if not use_coords:
75         # Modalità indirizzo: Nominativ geocodifica al momento del calcolo
76         depot_address = st.text_input("Deposito - Indirizzo", value="Via Oddino
77         Morgari 12, Torino")
78         chk_address = st.text_input("Checkpoint - Indirizzo", value="Corso
79         Svizzera 164, Torino")
80     else:
81         # Modalità coordinate: inserimento diretto (es. da Google Maps)
82         depot_lat = st.number_input("Deposito - Lat", value=45.070300, format="%.
83         6f")
84         depot_lon = st.number_input("Deposito - Lon", value=7.686900, format="%.
85         6f")
86         chk_lat = st.number_input("Checkpoint - Lat", value=45.070300, format="
87         %.6f")
88         chk_lon = st.number_input("Checkpoint - Lon", value=7.686900, format="
89         %.6f")
90
91 # --- Sezione caricamento Excel ---
92 st.markdown("### Input consegne (Excel)")
93 deliveries_df = None # Sarà popolato dopo il geocoding
94
95 xlsx = st.file_uploader("Carica Excel (.xlsx)", type=["xlsx"])
96
97 if xlsx:
98     parsed = load_dirty_excel(xlsx) # Parsing e pulizia del file
99     new_sig = hash(xlsx.getvalue()) # Hash per rilevare se il file è cambiato
100
101     # Se l'utente carica un file diverso, azzera tutto il geocoding precedente
102     if st.session_state["xlsx_sig"] != new_sig:
103         st.session_state["xlsx_sig"] = new_sig
104         st.session_state["deliveries_df_excel"] = None
105         st.session_state["geo_ok"] = []
106         st.session_state["geo_fail_df"] = None
107
108     saved_path = save_uploaded_excel(xlsx) # Salva copia in data/input
109     st.success(f"Excel salvato in: {saved_path}")
```

```
103 st.subheader("Pulizia (preview)")
104 st.dataframe(parsed, width="stretch") # Mostra anteprima del parsing
105
106 # ---- SE NON HO ANCORA COMPLETATO IL GEOCODING ----
107 if st.session_state["deliveries_df_excel"] is None:
108
109     # 1) bottone geocoding iniziale (solo se non ho già una fail_df attiva)
110     if st.session_state["geo_fail_df"] is None and not st.session_state["geo_
ok"]]:
111         if st.button("Geocodifica (Nominatim) e usa come consegne"):
112             st.info("Geocoding in corso (1 richiesta/sec circa)")
113             rows_ok = []
114             rows_fail = []
115             prog = st.progress(0)
116             total = len(parsed)
117
118             for i, r in parsed.iterrows():
119                 raw_txt = str(r.get("raw", "")).strip()
120                 name, addr = extract_name_and_address(raw_txt)
121
122                 lat, lon = geocode_one_address(addr)
123                 time.sleep(1.0)
124
125                 if lat is not None and lon is not None:
126                     rows_ok.append({
127                         "raw": raw_txt,
128                         "raw_original": raw_txt, # Preserva originale
129                         "address": addr,
130                         "lat": lat,
131                         "lon": lon,
132                         "name": name
133                     })
134                 else:
135                     rows_fail.append({"raw": raw_txt, "raw_original": raw_txt
})
136
137                 prog.progress(int((i + 1) / max(total, 1) * 100))
138
139                 st.session_state["geo_ok"] = rows_ok
140                 st.session_state["geo_fail_df"] = pd.DataFrame(rows_fail) if rows
_fail else None
141
142             # 2) se ho falliti, li mostro e permetto edit SOLO raw + retry
143             if st.session_state["geo_fail_df"] is not None and not st.session_state["
geo_fail_df"].empty:
144                 st.warning(f" Non geocodificati: {len(st.session_state['geo_fail_df
'])}")
145
146                 st.write("Correggi SOLO la colonna **raw** (nome + indirizzo + note).
Poi premi **Riprova**.")
147
148             # Assicurati che raw_original esista nel DF
149             if "raw_original" not in st.session_state["geo_fail_df"].columns:
150                 st.session_state["geo_fail_df"]["raw_original"] = st.session_
state["geo_fail_df"]["raw"]
151
```

```
152         edited_fail = st.data_editor(  
153             st.session_state["geo_fail_df"][["raw", "raw_original"]],  
154             width="stretch",  
155             num_rows="fixed",  
156             hide_index=True,  
157             column_config={  
158                 "raw": st.column_config.TextColumn("Indirizzo da correggere",  
width="large"),  
159                 "raw_original": st.column_config.TextColumn("Originale Excel"  
160 , disabled=True, width="medium"),  
161             },  
162             key="fail_editor", # KEY FISSA = mantiene le modifiche  
163         )  
164     if st.button("Riprova geocoding falliti"):  
165         st.info("Riprovo geocoding sui RAW corretti")  
166         new_ok = []  
167         still_fail = []  
168         prog2 = st.progress(0)  
169         total2 = len(edited_fail)  
170  
171         for j, row in edited_fail.reset_index(drop=True).iterrows():  
172             raw_txt2 = str(row.get("raw", "")).strip()  
173             name2, addr2 = extract_name_and_address(raw_txt2)  
174  
175             lat2, lon2 = geocode_one_address(addr2)  
176             time.sleep(1.0)  
177  
178             if lat2 is not None and lon2 is not None:  
179                 # Preserva raw_original (ora presente nel row editato)  
180                 orig = row.get("raw_original", raw_txt2)  
181                 new_ok.append({  
182                     "raw": raw_txt2,  
183                     "raw_original": orig,  
184                     "address": addr2,  
185                     "lat": lat2,  
186                     "lon": lon2,  
187                     "name": name2 if name2 else "Consegna"  
188                 })  
189             else:  
190                 still_fail.append({  
191                     "raw": raw_txt2,  
192                     "raw_original": row.get("raw_original", raw_txt2)  
193                 })  
194  
195             prog2.progress(int((j + 1) / max(total2, 1) * 100))  
196  
197         # aggiorno ok e fail  
198         st.session_state["geo_ok"] = st.session_state["geo_ok"] + new_ok  
199         st.session_state["geo_fail_df"] = pd.DataFrame(still_fail) if  
still_fail else None  
200  
201         # 3) se non ho più fail FINALIZZO e creo deliveries_df_excel (tutti!)  
202         if st.session_state["geo_fail_df"] is None and st.session_state["geo_ok"]  
]:
```

```
203         st.session_state["deliveries_df_excel"] = pd.DataFrame(st.session_
state["geo_ok"])
204         st.success(f"Geocoding completato ({len(st.session_state['deliveries
_df_excel'])} consegne)")
205
206     # ---- SE HO COMPLETATO ----
207     if st.session_state["deliveries_df_excel"] is not None:
208         st.success(f" Geocoding completato: {len(st.session_state['deliveries_df_
excel'])} consegne")
209
210         st.markdown("### Editor Completo Indirizzi")
211         st.info("""
212         **Come correggere indirizzi:**
213
214         **Per ri-geocodificare**:  
Modifica **"Indirizzo completo (raw)"** 0 **"
Indirizzo estratto** e clicca " Ri-geocodifica"
215
216         **Per coordinate manuali**:  
Modifica direttamente **lat/lon** (es. da
Google Maps) e clicca " Conferma"
217         """)
218
219         # Prepara DataFrame editabile completo
220         deliveries_full = st.session_state["deliveries_df_excel"].copy()
221
222         # Assicurati che ci siano tutte le colonne necessarie
223         for col in ["name", "raw", "address", "lat", "lon"]:
224             if col not in deliveries_full.columns:
225                 deliveries_full[col] = ""
226
227         # Mostra editor con tutte le colonne modificabili
228         edited_full = st.data_editor(
229             deliveries_full[["name", "raw", "raw_original", "address", "lat", "
lon"]],
230             use_container_width=True,
231             num_rows="dynamic", # Permette add/remove rows
232             column_config={
233                 "name": st.column_config.TextColumn("Nome", help="Nome
destinatario/consegna"),
234                 "raw": st.column_config.TextColumn("Indirizzo completo (raw)",
help="Formato: NOME | indirizzo + note"),
235                 "raw_original": st.column_config.TextColumn("Originale (Excel)",
disabled=True, width="small"),
236                 "address": st.column_config.TextColumn("Indirizzo estratto", help
="Solo l'indirizzo senza nome"),
237                 "lat": st.column_config.NumberColumn("Latitudine", format="%.6f"
),
238                 "lon": st.column_config.NumberColumn("Longitudine", format="%.6f"
),
239             },
240         )
241
242         col_regeo, col_confirm = st.columns(2)
243
244         with col_regeo:
245             if st.button(" Ri-geocodifica indirizzi modificati"):
```

```
246         st.info("Ri-geocodifico gli indirizzi con 'raw' o 'address'
modificato...")
247         updated_rows = []
248         prog_regeo = st.progress(0)
249
250         for idx, row in edited_full.iterrows():
251             raw_modified = str(row.get("raw", "")).strip()
252             address_modified = str(row.get("address", "")).strip()
253
254             # IMPORTANTE: Preserva raw_original (quello del foglio Excel)
255             # Ora è presente nel DF editato
256             raw_original = row.get("raw_original", raw_modified)
257
258             # Logica originale di confronto...
259             # Qui confronto con se stesso se non ho il DB originale handy
, ma edited_full ha tutto.
260             # Ricalcolo se lat/lon sono vuoti o se l'utente chiede.
261             # Ma qui la logica originale controllava se era cambiato
rispetto a deliveries_full.
262             # Possiamo semplicemente rigenerare se "raw" o "address" sono
cambiati rispetto a... cosa?
263             # Rispetto a prima.
264
265             # Recupero dati originali per confronto
266             original_raw = deliveries_full.iloc[idx]["raw"] if idx < len(
deliveries_full) else ""
267             original_address = deliveries_full.iloc[idx]["address"] if
idx < len(deliveries_full) else ""
268
269             # Se riga nuova (idx >= len) o modificata -> processa
270             if idx >= len(deliveries_full) or raw_modified != original_
raw or address_modified != original_address:
271
272                 # Indirizzo modificato ri-geocodifica
273                 if address_modified != original_address:
274                     addr = address_modified
275                     name = row.get("name", "Consegna")
276                 else:
277                     name, addr = extract_name_and_address(raw_modified)
278
279                 lat, lon = geocode_one_address(addr)
280                 time.sleep(1.0)
281
282                 if lat:
283                     updated_rows.append({
284                         "name": name if name else "Consegna",
285                         "raw": raw_modified,
286                         "raw_original": raw_original,
287                         "address": addr,
288                         "lat": lat,
289                         "lon": lon,
290                     })
291                 else:
292                     # Geocoding fallito, mantieni quello che c'è
293                     updated_rows.append({
294                         "name": row.get("name", "Consegna"),
```

```

295         "raw": raw_modified,
296         "raw_original": raw_original,
297         "address": row.get("address", ""),
298         "lat": row.get("lat"),
299         "lon": row.get("lon"),
300     })
301     else:
302         # Non modificato, mantieni tutto
303         updated_rows.append({
304             "name": row.get("name", "Consegna"),
305             "raw": raw_modified,
306             "raw_original": raw_original,
307             "address": row.get("address", ""),
308             "lat": row.get("lat"),
309             "lon": row.get("lon"),
310         })
311
312     prog_regeo.progress(int((idx + 1) / max(len(edited_full), 1)
313 * 100))
314
315     st.session_state["deliveries_df_excel"] = pd.DataFrame(updated_
316 rows)
317     st.success(f" Ri-geocodifica completata! {len(updated_rows)}
318 indirizzi aggiornati.")
319     st.rerun()
320
321     with col_confirm:
322         if st.button(" Conferma coordinate manuali"):
323             st.info("Confermo le coordinate modificate manualmente...")
324             confirmed_rows = []
325
326             for idx, row in edited_full.iterrows():
327                 raw_original = deliveries_full.iloc[idx].get("raw_original",
328 row.get("raw", "")) if idx < len(deliveries_full) else row.get("raw", "")
329
330                 confirmed_rows.append({
331                     "name": row.get("name", "Consegna"),
332                     "raw": row.get("raw", ""),
333                     "raw_original": raw_original,
334                     "address": row.get("address", ""),
335                     "lat": float(row.get("lat")) if row.get("lat") and not pd
336 .isna(row.get("lat")) else None,
337                     "lon": float(row.get("lon")) if row.get("lon") and not pd
338 .isna(row.get("lon")) else None,
339                 })
340
341             st.session_state["deliveries_df_excel"] = pd.DataFrame(confirmed_
342 rows)
343             st.success(f" Coordinate confermate! {len(confirmed_rows)}
344 indirizzi salvati.")
345             st.rerun()
346
347     # Prepara deliveries_df per routing (dopo editing)
348     deliveries_full = st.session_state["deliveries_df_excel"]
349     deliveries_df = deliveries_full[["address", "lat", "lon"]].copy()
350     st.dataframe(deliveries_df, width="stretch")

```

```

343
344 else:
345     st.info("Carica un .xlsx per iniziare.")

```

content/Appendici/Streamlit.py

A.10 Calcolo rotte e visualizzazione

Al click di "Calcola rotte" questo codice orchestra l'intera pipeline: geocodifica deposito e checkpoint, chiama OSRM table, *build_cost*, *solve_mtsp* e costruisce la mappa Folium con polilinee colorate per veicolo. Infine, mostra le statistiche (chilometri, minuti di guida, consegne per veicolo, minuti del servizio), i fogli di lavoro di ogni veicolo stampabili, i link Google Maps con QR code e la mappa interattiva.

```

1  # =====
2  # CALCOLO ROTTE (pulsante "Calcola rotte")
3  # =====
4  can_run = deliveries_df is not None and not deliveries_df.empty
5  if not can_run:
6      st.info("Prima completa la **Geocodifica**, poi comparirà **Calcola rotte**."
7          )
8  if can_run and st.button("Calcola rotte"):
9      st.session_state["last_run_stamp"] = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d_%H%M%S")
10
11     # Geocodifica deposito e checkpoint (solo se inseriti come indirizzi)
12     if not use_coords:
13         depot_lat, depot_lon = geocode_one_address(depot_address)
14         time.sleep(1.0)
15         chk_lat, chk_lon = geocode_one_address(chk_address)
16         time.sleep(1.0)
17
18         if depot_lat is None or chk_lat is None:
19             st.error("Non riesco a geocodificare deposito o checkpoint. Controlla
20                 gli indirizzi.")
21             st.stop()
22
23         depot_name = "Deposito"
24         chk_name = "Checkpoint"
25
26     # Costruisce la lista di coordinate nell'ordine atteso dal solver:
27     # [deposito, checkpoint_v1, checkpoint_v2, ..., consegna_1, consegna_2, ...]
28     coords = [(depot_lon, depot_lat)] # Nodo 0: deposito
29     names = [depot_name]
30
31     checkpoint_nodes = []
32     for v in range(vehicles):
33         # Nodi 1..vehicles: checkpoint (uno per veicolo, stesso punto fisico)
34         coords.append((chk_lon, chk_lat))
35         names.append(f"{chk_name} (V{v+1})")
36         checkpoint_nodes.append(1 + v)

```

```
37 # Nodi > vehicles: consegne
38 coords += list(zip(deliveries_df["lon"].astype(float), deliveries_df["lat"].
39 astype(float)))
40 names += deliveries_df["address"].astype(str).tolist()
41
42 # Mappa nodo testo originale Excel (per la stampa del foglio di lavoro)
43 deliveries_full = st.session_state.get("deliveries_df_excel")
44 raw_by_node = ["Deposito"] + ["Checkpoint (obbligatorio)] * vehicles
45 if deliveries_full is not None and "raw" in deliveries_full.columns:
46     # Preferisce raw_original (testo prima della correzione manuale)
47     if "raw_original" in deliveries_full.columns:
48         raw_by_node += deliveries_full["raw_original"].fillna(deliveries_full
49 ["raw"]).astype(str).tolist()
50     else:
51         raw_by_node += deliveries_full["raw"].astype(str).tolist()
52 else:
53     raw_by_node += deliveries_df["address"].astype(str).tolist()
54 st.session_state["last_raw_by_node"] = raw_by_node
55
56 # Richiede la matrice distanze/tempi a OSRM
57 try:
58     dist_m, dur_s = osrm_table(coords)
59 except Exception as e:
60     st.error(f"Errore chiamando OSRM /table. OSRM è acceso? Dettaglio: {e}")
61     st.stop()
62
63 # Costruisce la matrice dei costi e risolve il M-TSP
64 cost = build_cost(dist_m, dur_s, w_km=w_km, w_time=w_time)
65 routes = solve_mtspt(cost, vehicles, max_slack, checkpoint_nodes, objective=
66 objective)
67 if routes is None:
68     st.error("Nessuna soluzione trovata.")
69     st.stop()
70
71 # --- Costruzione mappa Folium ---
72 m = folium.Map(location=[depot_lat, depot_lon], zoom_start=12)
73
74 # Marker deposito (rosso, icona casa)
75 folium.Marker(
76     [depot_lat, depot_lon],
77     tooltip=depot_name,
78     icon=folium.Icon(color="red", icon="home", prefix="fa")
79 ).add_to(m)
80
81 # Marker checkpoint (rosso, icona croce)
82 folium.Marker(
83     [chk_lat, chk_lon],
84     tooltip="Checkpoint (obbligatorio)",
85     icon=folium.Icon(color="red", icon="plus-square", prefix="fa")
86 ).add_to(m)
87
88 # Marker consegne (cerchi blu)
89 for i in range(1 + vehicles, len(coords)):
90     folium.CircleMarker([coords[i][1], coords[i][0]], radius=5, tooltip=names
91 [i]).add_to(m)
```

```

89 # Polilinee colorate per ogni veicolo
90 colors = ["red", "green", "purple", "orange", "darkblue", "cadetblue"]
91 for v_idx, r in enumerate(routes):
92     pts = [(coords[i][1], coords[i][0]) for i in r]
93     folium.PolyLine(pts, weight=5, opacity=0.9, color=colors[v_idx % len(
colors))].add_to(m)
94
95 # tratto comune deposito -> checkpoint sopra a tutto
96 folium.PolyLine(
97     [(depot_lat, depot_lon), (chk_lat, chk_lon)],
98     weight=6,
99     opacity=1.0,
100     color="black"
101 ).add_to(m)
102
103 # Genera link Google Maps (partendo da posizione corrente GPS, solo delivery)
104 gmaps_links = {}
105 # Usa indirizzi testuali per maggiore precisione
106 node_addresses = names # Lista di indirizzi corrispondenti ai nodi
107 for v_idx, path in enumerate(routes, start=1):
108     gmaps_links[v_idx] = build_gmaps_links_v2(
109         coords,
110         path,
111         node_addresses=node_addresses,
112         vehicles=vehicles
113     )
114
115 st.session_state["gmaps_links"] = gmaps_links
116 st.session_state["last_routes"] = routes
117 st.session_state["last_map"] = m
118 st.session_state["last_dist_m"] = dist_m
119 st.session_state["last_dur_s"] = dur_s
120 st.session_state["last_names"] = names
121 st.session_state["last_coords"] = coords
122
123
124 # =====
125 # VISUALIZZAZIONE RISULTATI
126 # =====
127 if st.session_state["last_routes"] is not None:
128     routes = st.session_state["last_routes"]
129     coords = st.session_state["last_coords"]
130     dist_m = st.session_state["last_dist_m"]
131     dur_s = st.session_state["last_dur_s"]
132
133 # Converti le matrici in km e minuti per la visualizzazione
134 dist_km_matrix = [[(x or 0) / 1000.0 for x in row] for row in dist_m]
135 dur_min_matrix = [[(x or 0) / 60.0 for x in row] for row in dur_s]
136
137 # Costanti per la stima del tempo totale (guida + operazioni)
138 PICKUP_MIN = 15 # Minuti per il ritiro colli al checkpoint (una volta
per veicolo)
139 SERVICE_MIN_PER_DEL = 5 # Minuti per ogni consegna (suonare, attendere,
consegnare)
140
141 per_vehicle = []

```

```
142     tot_km = 0.0
143     tot_min = 0.0
144
145     for v, path in enumerate(routes, start=1):
146         km_v = 0.0
147         min_v = 0.0
148         # Somma distanza e tempo di guida tra nodi consecutivi
149         for a, b in zip(path[:-1], path[1:]):
150             km_v += dist_km_matrix[a][b]
151             min_v += dur_min_matrix[a][b]
152
153     # Conta solo i nodi delivery (esclude deposito 0 e checkpoint 1..vehicles
154 )
155     n_deliveries = sum(1 for node in path if node > vehicles)
156
157     # Tempo extra: ritiro colli + tempo di servizio per ogni consegna
158     extra_min_v = PICKUP_MIN + SERVICE_MIN_PER_DEL * n_deliveries
159     total_min_v = min_v + extra_min_v
160
161     per_vehicle.append({
162         "veicolo": v,
163         "km": km_v,
164         "minuti_guida": min_v,
165         "n_consegne": n_deliveries,
166         "minuti_extra": extra_min_v,
167         "minuti_totali": total_min_v,
168     })
169
170     tot_km += km_v
171     tot_min += total_min_v
172
173 stats_df = pd.DataFrame(per_vehicle)
174
175 # Aggiunge riga con i totali
176 tot_row = {
177     "veicolo": "TOTALE",
178     "km": stats_df["km"].sum(),
179     "minuti_guida": stats_df["minuti_guida"].sum(),
180     "n_consegne": stats_df["n_consegne"].sum(),
181     "minuti_extra": stats_df["minuti_extra"].sum(),
182     "minuti_totali": stats_df["minuti_totali"].sum(),
183 }
184 stats_df = pd.concat([stats_df, pd.DataFrame([tot_row])], ignore_index=True)
185
186 st.subheader("Statistiche percorsi")
187 st.dataframe(stats_df, width="stretch")
188 st.metric("Totale km (tutti i veicoli)", f"{tot_row['km']:.2f} km")
189 st.metric("Totale tempo (guida + extra)", f"{tot_row['minuti_totali']:.1f
190 } min")
191
192 # Salva le statistiche in CSV (una sola volta per run, evita duplicati)
193 run_stamp = st.session_state.get("last_run_stamp")
194 if run_stamp and st.session_state.get("stats_saved_for_run") != run_stamp:
195     out_path = OUTPUT_DIR / f"stats_{run_stamp}.csv"
196     stats_df.to_csv(out_path, index=False, encoding="utf-8")
```

```
196     st.session_state["stats_saved_for_run"] = run_stamp
197     st.success(f"Statistiche salvate in: {out_path}")
198
199     # Mostra la sequenza di consegne per ogni veicolo (foglio di lavoro
stampabile)
200     st.subheader("Rotte per veicolo:")
201     raw_by_node = st.session_state.get("last_raw_by_node", [])
202
203     for v_idx, r in enumerate(routes, start=1):
204         st.write(f"## Veicolo {v_idx}")
205
206         rows_print = []
207         for node in r:
208             if node == 0:
209                 rows_print.append({"step": len(rows_print)+1, "tipo": "DEPOT", "
raw": "Deposito"})
210             elif 1 <= node <= vehicles:
211                 rows_print.append({"step": len(rows_print)+1, "tipo": "CHECKPOINT
", "raw": "Checkpoint (obbligatorio)"})
212             else:
213                 raw_txt = raw_by_node[node] if 0 <= node < len(raw_by_node) else
"(RAW non trovato)"
214                 rows_print.append({"step": len(rows_print)+1, "tipo": "DELIVERY",
"raw": raw_txt})
215
216         df_print = pd.DataFrame(rows_print)
217         st.dataframe(df_print, width="stretch")
218
219         html = f"<h2>Veicolo {v_idx}</h2>" + df_print.to_html(index=False)
220         st.download_button(
221             f"Scarica stampa - Veicolo {v_idx} (HTML)",
222             data=html.encode("utf-8"),
223             file_name=f"stampa_veicolo_{v_idx}.html",
224             mime="text/html",
225         )
226
227     if st.session_state.get("gmaps_links"):
228         st.subheader("Link Google Maps (per i volontari)")
229         st.info("I link qui sotto portano direttamente alla navigazione passo-
passo sul tuo telefono. Scansiona il QR code o clicca sul pulsante.")
230
231         for v_idx, links in st.session_state["gmaps_links"].items():
232             st.markdown(f"### Veicolo {v_idx}")
233
234             for part_i, url in enumerate(links, start=1):
235                 col_link, col_qr = st.columns([2, 1])
236
237                 with col_link:
238                     st.write(f"***Parte {part_i}**")
239                     try:
240                         st.link_button(f" Apri Google Maps (Veicolo {v_idx})",
url)
241                     except Exception:
242                         st.markdown(f"- [Apri su Google Maps]({url})")
243
244                 with col_qr:
```

```
245         if QR_AVAILABLE:
246             qr_img = generate_qr_code(url)
247             if qr_img:
248                 st.image(qr_img, caption=f"QR Veicolo {v_idx}", width
=150)
249             else:
250                 st.caption("(QR code non disponibile - libreria 'qrcode'
mancante)")
251
252         st.divider()
253
254     st.subheader("Mappa")
255     st_folium(
256         st.session_state["last_map"],
257         width=1100,
258         height=600,
259         returned_objects=[],
260         key="map"
261     )
```

content/Appendici/OutputRotte.py