



## Ricerca di Sistema elettrico

# Sviluppo di uno strumento di supporto per il dimensionamento di una rete di infrastruttura di ricarica per l'ottimizzazione economica del servizio di ricarica

Ilaria Baffo, Stefano Ubertini, Giuseppe Calabrò, Stefano Rossi

SVILUPPO DI UNO STRUMENTO DI SUPPORTO PER IL DIMENSIONAMENTO DI UNA RETE DI  
INFRASTRUTTURA DI RICARICA PER L'OTTIMIZZAZIONE ECONOMICA DEL SERVIZIO DI RICARICA

Ilaria Baffo, Stefano Ubertini, Giuseppe Calabrò, Stefano Rossi  
(Dipartimento di Economia, Ingegneria, Società e Impresa – Università della Tuscia)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica negli usi finali elettrici e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori elettrici

Progetto: D.7 “Mobilità elettrica sostenibile”

Obiettivo: Scenari mobilità elettrica, sub-obiettivo a.2 Localizzazione ottima stazione di ricarica

Responsabile del Progetto: ing. Antonino Genovese, ENEA

## Sommario

PREMESSA.....	5
1 INTRODUZIONE .....	7
1.1 NORME E DOCUMENTI A SUPPORTO DELLO SVILUPPO DELLA E-MOBILITY.....	10
1.2 UNO SGUARDO SULLA SITUAZIONE INTERNAZIONALE .....	11
1.3 UNO SGUARDO SULLA SITUAZIONE NAZIONALE .....	13
2 DESCRIZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO .....	15
2.1 ANALISI DEI DATI, IPOTESI E VINCOLI DEL PROBLEMA.....	15
2.2 DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO EURISTICO-OTTIMIZZATORIO.....	19
2.3 RAPPRESENTAZIONE MATEMATICA DEL PROBLEMA DI ATTIVAZIONE DELLE STAZIONI DI RICARICA CON ASSEGNAZIONE DEGLI UTENTI ALLE SOLE STAZIONI ATTIVE.....	21
3 DEFINIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E DEI RISULTATI CONSEGUITI PER IL CASO DI STUDIO SPECIFICO. <b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>	
4 CONCLUSIONI E OPPORTUNITÀ DI RICERCA FUTURE .....	34
5 APPROFONDIMENTI.....	35
5.1 GRUPPO DI RICERCA COINVOLTO NELLO STUDIO.....	35
5.2 SCHEDE DI LAVORAZIONE DIMENSIONAMENTO RETE DI RICARICA ELETTRICA .....	36
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	37
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	38



## Premessa

Il presente rapporto tecnico costituisce le risultanze dell'attività di ricerca condotta all'interno dell'Accordo di collaborazione ENEA – Dipartimento di Economia, Ingegneria, Società ed impresa dell'Università della Tuscia sulla sostenibilità economica del servizio di ricarica per veicoli elettrici nell'ambito del Progetto Mobilità elettrica sostenibile per la Ricerca di Sistema Elettrico nell'anno 2016. I luoghi di ricerca sono stati prevalentemente due:

- Uffici DEIM – Sede di Ingegneria - Largo dell'Università – 01100 Viterbo (VT)
- Uffici ENEA Centro Ricerche Casaccia – Via Anguillarese, 301 – 00123 Roma (RM)

Hanno partecipato alla ricerca i seguenti ricercatori:

- Stefano Ubertini, professore ordinario di Macchine e Sistemi per l'Energia e l'Ambiente, direttore del DEIM presso Università della Tuscia;
- Ilaria Baffo, professore a contratto dei corsi di Impianti Industriali e Gestione dei progetti e degli impianti industriali e assegnista di ricerca in ambito industriale-gestionale;
- Giuseppe Calabrò, professore associato di Elettrotecnica;
- Stefano Rossi, ricercatore di Misure Meccaniche e Termiche.

Ultimamente sono stati fatti molti sforzi, sia nel campo della scienza che dell'industria, per sostenere lo sviluppo di una mobilità sostenibile con particolare riguardo alle aree urbane solitamente caratterizzate da una altissima concentrazione di automobili. Gli obiettivi fissati dalla Commissione Europea sulla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> hanno aumentato la consapevolezza dei Governi sull'importanza di investire risorse e competenze per lo sviluppo di soluzioni innovative nel campo della mobilità sostenibile. Negli ultimi anni del 1990 e all'inizio del 2000, alcune case automobilistiche, in primo luogo, Toyota e Honda, hanno spostato la produzione verso la commercializzazione di veicoli a basse emissioni di carbonio. Oggi sono disponibili sul mercato oltre 50 modelli tra veicoli elettrici e plug-in provenienti da quasi tutte le case automobilistiche internazionali, Nissan, BMW, Mitsubishi, Volkswagen, Audi, Hyundai, KIA, Mercedes, Peugeot, Suzuki, oltre a Honda, Toyota e Tesla pionieri della mobilità elettrica. Purtroppo, nonostante la grande scelta di auto elettriche presenti sul mercato, di recente anche con prezzi economici rispetto ai primi modelli usciti, e nonostante siano noti i benefici derivanti dalla diffusione della mobilità elettrica, con riferimento agli

ambientali, sociali ed economici, lo sviluppo di questo tipo di mobilità incontra ancora moltissimi ostacoli sia di natura tecnica che economica.

Una delle maggiori barriere all'entrata di questo mercato sembra essere rappresentata da (i) lunghi tempi di ricarica, (ii) scetticismo tra i potenziali utenti finali sull'affidabilità della batteria e sulla sua durata, (iii) alti costi delle auto elettriche rispetto ai veicoli tradizionali basati sul motore a combustione e, come studiato dagli autori, la mancanza di un'infrastruttura di ricarica diffusa, omogenea e correttamente distribuita in un'area territoriale urbana.

In questo lavoro, gli autori affrontano il problema, noto come ottimizzazione della posizione delle stazioni di ricarica, proponendo un metodo euristico per la progettazione ed il dimensionamento di una infrastruttura sostenibile per la ricarica dei veicoli elettrici. La sostenibilità della rete viene discussa in merito al numero di utenti servibili ed all'ammontare dell'investimento necessario per la realizzazione dell'infrastruttura e delle sua gestione/manutenzione.

L'approccio risolutivo euristico è stato testato su una applicazione reale, dimostrando come il metodo sviluppato potrebbe costituire un valido supporto alle seguenti decisioni simultanee:

- quanti e quali tipi di stazioni di ricarica installare;
- dove installare stazioni di ricarica;
- definizione del comportamento del servizio in base all'arrivo degli utenti alla stazione di ricarica
- dimensionamento della stazione in termini di numero di prese attivate sulla base di criteri di sostenibilità economica e di livello di servizio prestato agli utenti.

Il processo decisionale è costruito da un insieme di metodi e tecniche aventi un unico obiettivo condiviso: l'economicità dell'iniziativa ovvero la sua remunerabilità in un orizzonte temporale breve coerentemente al rapido sviluppo dell'avanzamento tecnologico.

## 1 Introduzione

Allo stato attuale si ha la forte necessità di ridurre le sorgenti emmissive promuovendo l'uso di tecnologie a basso impatto ambientale.

Nel settore dei trasporti i veicoli oggi maggiormente utilizzati sono quelli a combustione interna che durante il loro funzionamento emettono nell'atmosfera dei gas di scarico nocivi e sono ritenuti tra i maggiori responsabili di inquinamento delle città. Gli elementi altamente inquinanti immessi nell'atmosfera sono: monossido di carbonio, anidride carbonica, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, idrocarburi incombusti e particolato carbonioso. Per ridurre l'impatto ambientale legato all'uso dei veicoli tradizionali, come studiato in [1], una strategia è quella di incentivare l'uso di veicoli elettrici ottimizzando i costi delle attrezzature, delle installazioni e di tutte le operazioni che ruotano intorno. La sostenibilità "Green" così proposta ridurrebbe del 70% le emissioni e incentiverebbe il trasporto sostenibile alternativo al trasporto pubblico andando a ri-ottimizzare l'intero sistema.

A livello globale l'uso del motore elettrico avrebbe un impatto positivo non solo dal punto di vista ambientale ma anche sul beneficio tratto dalla riduzione dell'inquinamento acustico e di una ridotta manutenzione rispetto al motore termico.

I veicoli elettrici attualmente in commercio possono essere suddivisi in due categorie, gli EV o BEV esclusivamente alimentati da motori elettrici, privi totalmente del motore a combustione interna, e quelli HEV che hanno un motore ibrido dato dall'unione di due motori, elettrico e termico, tipicamente a benzina o diesel. Rispetto ai quelli EV presentano però lo svantaggio di avere una modesta capacità delle batterie. La velocità di diffusione di questo tipo di mobilità a basso impatto ambientale dipende da diversi fattori, come ad esempio quello degli incentivi economici rispetto ai veicoli termici.

Attualmente i veicoli ad alimentazione elettrica hanno svariati problemi che ne riducono la diffusione. I più importanti sono sicuramente:

- bassa autonomia di utilizzo. Questo fattore è sicuramente uno dei più importanti poiché le attuali batterie a ioni di litio (commercialmente le più diffuse e performanti) garantiscono un'autonomia in marcia di poche centinaia di chilometri rendendo difficile un impiego per trasporti a lunga percorrenza;

- lunghi tempi di ricarica. Le tecnologie di ricarica elettrica attuali consentono tempi di ricarica dell'ordine di qualche ora, questo fattore è molto importante poiché se confrontato con un rifornimento di combustibile tradizionale rende l'uso di mezzi ad alimentazione elettrica poco appetibile;
- scarsa diffusione di una rete per la ricarica. Questo è probabilmente il limite più grande alla diffusione dei veicoli elettrici. La ricarica domestica non può essere l'unica soluzione disponibile per questo è necessario che le autorità emanino alcune delibere che mirino all'incremento della diffusione delle stazioni di ricarica (colonnine).

È chiaro quindi che, come nel caso delle fonti energetiche alternative, il problema più grande per la diffusione dei mezzi di trasporto è dato soprattutto dalla scarsa disponibilità attuale di una rete elettrica diffusa che renda possibile la ricarica delle batterie in qualsiasi punto ci si trovi ed in tempi ragionevoli.

L'obiettivo da perseguire nel breve periodo è quindi sicuramente la creazione di una fitta rete di "colonnine" di ricarica a basso costo nei centri urbani così da incentivare la popolazione ad utilizzare mezzi ad alimentazione elettrica. La diffusione della rete di ricarica deve essere notevole e deve favorire, oltre ai suddetti centri urbani e suburbani, anche la diffusione di natanti ad alimentazione elettrica utilizzabili per la navigazione in acque interne e nei porti marittimi. Per raggiungere quindi l'obiettivo di un massiccio utilizzo dei veicoli elettrici parallelamente va tenuto conto dell'integrazione delle strutture di ricarica adeguate [2].

Per ricaricare i veicoli che si trovano a dover percorrere il medio-lungo tragitto si necessita di prestazioni di ricarica rapide, le stazioni che devono erogare questo servizio devono essere ad alta potenza in corrente continua (FAST DC) dove con un periodo di tempo che varia dai 10 ai 30 minuti si può eseguire una ricarica quasi completa. Si deve però ricorrere alle ricariche veloci solo in situazioni necessarie, altrimenti per una maggior durata delle batterie risulta maggiormente efficiente l'utilizzo delle ricariche lente, che avendo tempi di ricarica appunto piuttosto lunghi devono essere erogate in luoghi strategici come condomini, parcheggi custoditi di centri commerciali, o come analizzato nello studio di [1] sul posto di lavoro, dove i veicoli sostano più a lungo. Disporre di punti di ricarica ultra-rapidi ben posizionati per garantire la massima durata della batteria riducendo al minimo i tempi di ricarica durante tutto il percorso di un viaggio è fondamentale per approcciare il problema di stabilire le posizioni ottimali delle reti di ricarica, come riportato con esempi e studi da [3].

Lo studio oggetto di questo report intende valutare il suddetto posizionamento in una ottica sia di livello di servizio agli utenti, inteso in termini di prossimità del punto di ricarica al punto di sosta, sia in termini di sostenibilità economica da parte del soggetto gestore della rete di ricarica.

Lo studio del posizionamento e del dimensionamento dell'infrastruttura di ricarica si è basato sull'analisi di dati registrati dalla Società OctoTelematics riguardanti la zona urbana del quartiere Eur di Roma, raccolti dalla geo-localizzazione di un parco auto per 7 giorni consecutivi ricadenti nel mese di maggio 2013.

La Comunità Europea ed il Governo Italiano, coscienti del gap infrastrutturale in termini di ricarica elettrica, hanno attraverso alcune delibere ribadito la necessità di avanzare politiche di investimento importanti per la realizzazione di una rete diffusa per la ricarica dei veicoli elettrici.

In Italia il PNire, attraverso le sue numerose revisioni, fornisce le linee guida per colmare questo gap individuando una rete che possa garantire una continuità di erogazione su tutto il territorio nazionale ed internazionale partendo dalle piccole aree comunali arrivando alle grandi aree metropolitane. A supporto di tale programmazione si è provveduto con delle misure a livello nazionale prima e regionale poi a supportare gli investimenti in infrastrutture di ricarica sia pubbliche che private.

L'art. 17 septies «Piano nazionale infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica (PNire)» dalla legge 7 agosto 2012, n. 134 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 22 giugno 2012, n. 83, recante Misure urgenti per la crescita del Paese" si pone l'obiettivo di garantire in tutto il territorio nazionale livelli minimi uniformi di accessibilità del servizio di ricarica ai veicoli alimentati ad energia elettrica. Esso inoltre persegue la sperimentazione e la diffusione di flotte pubbliche e private di veicoli a basse emissioni complessive, con particolare riguardo al contesto urbano, nonché l'acquisto di veicoli a trazione elettrica o ibrida. A tal fine il comma 8 dell'art. 17 septies della richiamata legge n. 134/2012 prevede l'istituzione di un apposito fondo presso il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (MIT).

Ai sensi dell'art. 17 septies, 5° e 9° comma, della richiamata legge n. 134/2012, il MIT è chiamato a promuovere la stipula d'intesa con la Conferenza unificata di appositi accordi di programma con le Regioni finalizzati al cofinanziamento, fino ad un massimo del 50 per cento delle spese sostenute da regioni ed enti locali per la realizzazione di progetti relativi allo sviluppo delle reti infrastrutturali per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica. Sulla base delle premesse numerose regioni italiane nel maggio 2016 hanno promosso bandi per il sostenimento economico della creazione di un'infrastruttura di ricarica sul territorio italiano le cui risultanze però sono ancora attese ed in progetti ancora in fase di valutazione di finanziamento.

## 1.1 Norme e documenti a supporto dello sviluppo della e-mobility

Numerose sono le norme e i documenti comunitari per le strategie europee per la mobilità elettrica. La Commissione Europea sta spingendo la mobilità sostenibile per la diffusione delle auto elettriche in particolare attraverso due normative: la Strategia “Europa 2020” e la Strategia “Trasporti 2050” [4].

La strategia “Europa 2020” mira a fare in modo che la ripresa economica dell'Unione europea in seguito alla crisi economica e finanziaria si accompagni a una serie di riforme che stabiliscano fondamenta solide per la crescita e la creazione di occupazione da qui al 2020. Tra i punti chiave della strategia Europa 2020 c'è la sostenibilità, basata su un'economia più verde, più efficiente e competitiva nella gestione delle risorse. Per raggiungere quest'aspirazione, l'UE si è posta cinque grandi obiettivi da raggiungere entro il 2020 [5], tra cui: ridurre le emissioni di gas serra almeno al 20%, portare al 20% la quota di energie rinnovabili e aumentare l'efficienza energetica del 20%.

La strategia “Trasporti 2050” [4] invece mira ad un sistema di trasporti concorrenziale in grado di incrementare la mobilità, rimuovere i principali ostacoli nelle aree essenziali e alimentare la crescita e l'occupazione. Contemporaneamente, le proposte contribuiranno a ridurre sensibilmente la dipendenza dell'Europa dalle importazioni di petrolio, nonché a ridurre le emissioni di anidride carbonica nei trasporti del 60% entro il 2050 rispetto ai livelli del 1990 [6].

La Direttiva 2009/33/CE del 23 aprile 2009 [7] si riferisce alla promozione di veicoli puliti e a basso consumo energetico nel trasporto su strada.

Il Regolamento (CE) n. 443/2009 del 23 aprile 2009 [8] definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni delle autovetture nuove nell'ambito dell'approccio comunitario integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli leggeri.

Il 28 aprile 2010 la Commissione europea ha presentato “Una strategia europea per i veicoli puliti ed efficienti sul piano energetico” intesa ad incoraggiare lo sviluppo e l'assorbimento da parte del mercato di questi veicoli [9].

Il Libro bianco europeo [4] “Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile”, del 28 marzo 2011, ha esortato a mettere fine alla dipendenza dal petrolio nel settore dei trasporti.

Il mercato europeo delle auto elettriche è dominato al 90% da 6 stati che sono: Paesi Bassi, Regno Unito, Germania, Francia, Svezia e Danimarca. In questi paesi l'incentivazione da parte dei governi centrali ha consentito di diffondere in maniera considerevole tali tecnologie [4].

A livello globale, invece, il campione mondiale grazie all'alto tasso dei veicoli elettrici è la Norvegia.

In questo scenario la Direttiva 2014/94/UE [10] del Parlamento Europeo e del Consiglio interviene per regolamentare la costruzione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi quali idrogeno, elettricità, biocarburanti, gas naturale e gas di petrolio liquefatto (GPL).

Il problema più grande per la diffusione dei mezzi di trasporto è dato soprattutto dalla scarsa disponibilità attuale di una rete elettrica diffusa che renda possibile la ricarica delle batterie in qualsiasi punto ci si trovi ed in tempi ragionevoli. Una rete ben realizzata e con ampio grado di servizio per gli utilizzatori può fare da stimolo per la diffusione di mezzi meno inquinanti e più rispettosi della qualità dell'aria.

L'obiettivo è garantire entro il 31/12/2020 [4] la creazione di una fitta rete di "colonnine" di ricarica a basso costo nei centri urbani così da incentivare la popolazione ad utilizzare mezzi ad alimentazione elettrica. Tuttavia sembra un obiettivo estremamente lontano ed ambizioso senza il supporto dell'iniziativa privata. In questo report si presenta proprio uno studio per valutare i reali margini di opportunità offerti dall'avvio di iniziative private sulla vendita dei servizi di ricarica elettrica.

## *1.2 Uno sguardo sulla situazione internazionale*

Il numero di auto che popola le strade dell'Unione europea è sempre più elevato e fortunatamente le auto sono sempre più moderne e meno inquinanti. In particolare negli ultimi 5 anni sta nascendo la coscienza da parte dei consumatori che sia necessario ridurre le emissioni e passare sempre in maniera più diffusa ad auto ad alimentazione elettrica. Questa affermazione molto forte è confermata dalle cifre che mostrano numeri sempre crescenti di auto ibride ed elettriche vendute nel vecchio continente.

Un impulso molto grande al mercato è sicuramente dovuto all'interesse delle grandi case automobilistiche di investire nella mobilità ibrida ed elettrica. I veicoli ibridi (dotati sia di motore tradizionale che di motore elettrico) sono certamente la categoria che ha riscosso maggior successo per via della loro doppia possibilità di utilizzo: tradizionale con motore termico o elettrica.

La tecnologia del plug-in (veicoli collegabili alla rete) non ha ancora raggiunto il successo dei veicoli ibridi soprattutto per la difficoltà di utilizzo della tecnologia plug-in come già descritto.

Occorre precisare che in Europa la diffusione dei veicoli elettrici o ibridi non è affatto omogenea.

- La Norvegia è il paese in cui la diffusione di veicoli elettrici ha il valore più alto al mondo. Questo risultato è stato raggiunto soprattutto grazie alle politiche energetiche e alla fiducia della popolazione in questo tipo di tecnologia.  
I possessori di auto elettriche in Norvegia possono godere di numerosi vantaggi fiscali. L'acquisto di un'auto elettrica consente inoltre di avere agevolazioni sui pedaggi e sui parcheggi.
- La Svezia detiene, secondo l'istituto ICCT di Washington, prima rete di ricarica al mondo per tasso di diffusione. L'amministrazione ha inoltre legiferato a favore di un'ancora maggiore diffusione delle colonnine di ricarica.
- La Francia ha affrontato il problema della mobilità elettrica da anni prevedendo investimenti pubblici per la diffusione della rete di ricarica e per lo sviluppo di veicoli a trazione elettrica. Ovviamente da anni sono stati previsti anche incentivi diretti per chi voglia acquistare auto elettriche o ibride. Un'altra azione che vede la Francia all'avanguardia verso la diffusione della mobilità elettrica è la tassa (da 150 a 8000) euro da pagare nel caso si compri un'auto inquinante definita in base alle emissioni di CO<sub>2</sub> al chilometro.
- In Germania la situazione non differisce molto da quella dei due paesi elencati. Anche in questo caso i governi rinnovano costantemente il proprio impegno verso la diffusione di mezzi elettrici attraverso l'incremento della diffusione di reti di ricarica e di sgravi fiscali verso chi acquista mezzi elettrici.

### 1.3 *Uno sguardo sulla situazione nazionale*

In Italia il tasso di auto presenti per numero di abitanti è tra i più alti d'Europa; tuttavia il tasso di diffusione della mobilità elettrica è tra i più bassi.

L'unico punto a favore del parco auto italiano è che sempre più spesso gli acquisti di auto nuove riguardano vetture a metano e a gpl, che promettono basse emissioni e ridotti costi di rifornimento. L'approccio dei governi italiani è stato infatti poco incisivo verso la diffusione dei messi elettrici. Il Fondo previsto nel biennio 2013-2015 non era specificamente dedicato alla mobilità elettrica, andava piuttosto a favorire l'acquisto di mezzi alimentati a combustibili "puliti" (gpl e metano). Per le auto a batteria era destinato solo il 15% del fondo che è stato successivamente sospeso.

Il risultato è stata un'ancora troppo scarsa diffusione dei veicoli elettrici rispetto alla media europea.

L'assenza di un'infrastruttura per la diffusione dell'energia elettrica e di specifiche tecniche comuni per l'interfaccia veicolo elettrico-infrastruttura è considerata uno dei maggiori ostacoli alla diffusione sul mercato dei veicoli elettrici e alla loro accettazione da parte dei consumatori sia in Italia che in numerosi altri Paesi del territorio europeo. A parziale superamento di tale ostacolo, il 14 gennaio 2017 è entrato formalmente in vigore con pubblicazione su Gazzetta Ufficiale il DAFI (Directive alternative fuel initiative).

Il DAFI è il decreto legislativo di attuazione della direttiva 2014/94/UE che fornisce requisiti e linee guida per la realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi. Il provvedimento è stato predisposto in attuazione della legge 9 luglio 2015 n. 114 recante delega al Governo per il recepimento delle direttive europee e l'attuazione degli altri atti dell'Unione Europea – legge di delegazione 2014.

La definizione del Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica (PNire-ultimo aggiornamento 2016) ha utilizzato come base normativa una serie di studi, direttive, regolamenti e Comunicazioni che la Commissione Europea, ad oggi, ha realizzato per regolare e dare impulso allo sviluppo del settore.

Il Piano nazionale definisce le linee guida per garantire lo sviluppo unitario del servizio di ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica nel territorio nazionale, sulla base di criteri oggettivi che tengono conto dell'effettivo fabbisogno presente nelle diverse realtà territoriali, valutato sulla base dei concorrenti profili della congestione di traffico veicolare privato, della criticità dell'inquinamento atmosferico e dello sviluppo della rete stradale urbana ed extraurbana e di quella autostradale. Le misure del PNire si concentrano non solo sull'istituzione di un servizio di ricarica dei veicoli applicabile al trasporto privato e pubblico e conforme alle direttive dell'Unione europea, ma anche sull'introduzione di procedure di gestione del

servizio di ricarica, di incentivi per l'acquisto di veicoli elettrici e di agevolazioni, anche amministrative, in favore dei titolari e dei gestori degli impianti di distribuzione del carburante per l'ammmodernamento degli impianti attraverso la realizzazione di infrastrutture di ricarica per i veicoli alimentati ad energia elettrica. Inoltre il PNire si concentra sulla realizzazione di programmi integrati di promozione dell'adeguamento tecnologico degli edifici esistenti e sulla promozione della ricerca tecnologica volta alla realizzazione di reti infrastrutturali per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica.

Analizzando i dati certi e i trend di crescita della mobilità elettrica in Italia, l'Energy&Strategy Group del Politecnico di Milano, stilando l'E-Mobility Report 2015 (primo rapporto italiano sul settore), ha stimato che nel 2016 in Italia sono stati venduti 2.560 veicoli elettrici, che purtroppo costituisce solo lo 0,1% dell'intero mercato dell'auto e senza nessuna crescita rispetto al 2015. Tuttavia diversi scenari di diffusione dei veicoli elettrici, in considerazione sia degli effetti derivanti da una maggiore diffusione delle infrastrutture di ricarica, sia da miglioramenti tecnologici (e di prezzo dei veicoli), consentono di stimare per il 2020 un mercato di veicoli elettrici nella fascia 1-3% del mercato totale, cioè un mercato tra 18 mila e 54 mila veicoli che si traduce in un parco circolante tra 45 mila e 130 mila veicoli; per il 2030 invece i diversi scenari (OCSE e IEA - Agenzia Internazionale per l'Energia) propongono ipotesi molto meno stabili e certe e quindi non sufficientemente affidabili, in conseguenza delle eventuali radicali trasformazioni dei modelli di consumo così come dei progressi tecnologici.

Considerando quindi, in prima istanza, un fattore di 1:10 tra punti di ricarica e veicoli è possibile fissare come target nazionali 2020 per la ricarica pubblica delle autovetture tra i 4.500 ed i 13.000 punti di ricarica lenta/accelerata e tra 2.000 e 6.000 stazioni di ricarica veloce.

La classifica elaborata da UNRAE, l'Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri, al 31/10/2017, riporta i modelli delle autovetture e dei fuoristrada immatricolati in Italia, con il dettaglio per alimentazione: benzina, diesel, gpl, metano, ibride ed elettriche. La percentuale di auto elettriche sul totale del mercato italiano (1.864.888) è dello 0,1%. [11]

## 2 Descrizione dell'approccio metodologico

### 2.1 Analisi dei dati, ipotesi e vincoli del problema

La ricerca ha avuto l'obiettivo primario di sviluppare un sistema di supporto alla decisione per il dimensionamento e la localizzazione di una rete di stazioni di ricarica a partire dal soddisfacimento di una data domanda di servizi di ricarica ottimizzando un unico obiettivo di massima redditività dell'investimento. In particolare la *domanda* è stata ipotizzata essere identica alle informazioni fornite dalla società OctoTelematics sulle soste di automobili avvenute dal 06/05/2013 al 12/05/2013 nel territorio del quartiere EUR della Città di Roma avente le seguenti dimensioni Superficie: 5,67 km<sup>2</sup> Abitanti: 9.554. La scelta nell'utilizzo dei dati è stata dettata dalla percentuale di utenti registrata dalla società OctoTelematics dichiarata essere dell'ordine del 6% della popolazione in movimento su automobili. Tale dato risulta ben al di sopra dell'attuale presenza di autoveicoli elettrici sul territorio nazionale che come avanzato in premessa si attesta attorno allo 0,1% del circolante auto, ma può essere un dato utile di partenza per il dimensionamento di una rete che nei prossimi 10 anni si spera possa servire una popolazione di utenti molto più cospicua.

Dai dati forniti e di seguito analizzati, nell'area oggetto di studio e nel periodo temporale sopra indicato si rilevano 3071 soste, identificate ai fini della ricerca come 3071 potenziali punti di domanda del servizio di ricarica elettrico distribuite nelle 24 ore di 7 giorni della settimana.

Per ogni punto di sosta si dispone dei seguenti dati e informazioni di ingresso al problema:

- *codice\_id*, identificativo della sosta;
- *id\_trajectory*, identificativo dell'utente;
- *T\_arrivo* in data unix, rappresentativo del tempo di arrivo al punto di sosta;
- *Lat*, latitudine del punto di sosta;
- *Long*, longitudine del punto di sosta;
- *Soc*, distanza precedentemente percorsa dall'utente.

Grazie a questi dati è stato possibile in modo agevole ricostruire una **Domanda di Servizio di Ricarica** sul territorio semplicemente individuando i momenti di sosta come punti di domanda da dover servire.

Per la definizione invece dell'**Offerta di Servizio di Ricarica** sul territorio preso in esame, sono stati individuati attraverso una ricerca puramente visiva e centrata alla copertura dell'intera area, **32 potenziali siti** per l'apertura di stazioni di ricarica coincidenti con aree di sosta, parcheggi e grandi stazioni di erogazione di carburante riportati nella Tabella 1.

L'attivazione di tutte le stazioni ipotizzate comporterebbe un impiego eccessivamente ingente di risorse, tra l'altro non derivante e non associato ad un reale studio della domanda sul territorio né tantomeno sulla **sostenibilità delle stazioni** qualora come investitore/gestore fosse coinvolto un soggetto privato. Per ovviare a questa mancanza di oggettività e di economicità del processo decisionale si propone un approccio matematico euristico tale da minimizzare il numero di risorse impiegate, massimizzando contemporaneamente il livello di servizio cioè il numero di utenti serviti e la prossimità delle stazioni attivate rispetto al punto di sosta dell'utente. Naturalmente la ricerca della sostenibilità economica delle suddette stazioni limiterà il numero delle attivazioni ad un sottoinsieme ottimo o sub-ottimo rispetto a quelle elencate in Tabella 1.

ID Potenziale localizzazione	lat	long	Tipo	Denominazione	Indirizzo
1	41,8268	12,4547	Stazioni di carburante	Agip	I-Roma Viale Dell' Oceano Pacifico
2	41,8171	12,4619	Stazioni di carburante	Agip	I-Roma Via Cristoforo Colombo
3	41,8167	12,4621	Stazioni di carburante	Agip	I-Roma Via Cristoforo Colombo
4	41,8191	12,4673	Stazioni di carburante	DKV (Erg)	I-00144 Roma (Rm) Viale Dell'Oceano Atlantico
5	41,8171	12,462	Stazioni di carburante	DKV (Agip)	I-00144 Roma Via C. Colombo 708
6	41,8166	12,4616	Stazioni di carburante	DKV (Erg)	I-00144 Roma V.Colombo/V.O.Pacif.
7	41,8207	12,4621	Stazioni di carburante	Eni	I-Italia
8	41,8212	12,4434	Stazioni di carburante	Eni	I-42 Via Di Decima Roma
9	41,8333	12,4417	Stazioni di carburante	Eni	I-Via Isacco Newton di prossima apertura
10	41,8233	12,4577	Stazioni di carburante	Eni	I-Viale dell'oceano pacifico
11	41,8091	12,4459	Stazioni di carburante	Eni	I-lavaggio
12	41,8167	12,4621	Stazioni di carburante	Eni	I-Via Cristoforo Colombo Roma
13	41,8171	12,4619	Stazioni di carburante	Eni	I-Via Cristoforo Colombo Roma
14	41,8192	12,4671	Stazioni di carburante	ERG	I-Roma Viale Dell'oceano Atlantico
15	41,8166	12,4616	Stazioni di carburante	ERG	I-Via Cristoforo Colombo Roma
16	41,821	12,46	Stazioni di carburante	Esso	I-Viale Dell'Oceano Pacifico Roma
17	41,822	12,4427	Stazioni di carburante	Euroshell (Shell)	I-via di Decima

18	41,8292	12,4601	Stazioni di carburante	Euroshell (Shell)	I-Viale della tecnica RM
19	41,8219	12,4645	Stazioni di carburante	Euroshell (Shell)	I-Via C.Colombo RM
20	41,8236	12,4576	Stazioni di carburante	IP	I-Viale Dell'Oceano Pacifico Roma
21	41,8169	12,4618	Stazioni di carburante	GPL/LPG	I-Roma V C Colombo-Erg
22	41,2928	12,4604	Stazioni di carburante	Q8	I-Italia
23	41,8267	12,4547	Stazioni di carburante	Q8	I-Viale Dell'Oceano Pacifico Roma
24	41,8219	12,4645	Stazioni di carburante	Shell	I-Roma
25	41,8219	12,4649	Stazioni di carburante	Shell	I-Roma
26	41,8292	12,4602	Stazioni di carburante	Shell	I-Roma
27	41,8329	12,4669	Stazioni di carburante	I-Total	
28	41,8191	12,4372	Parcheeggio	Tor Di Valle Piazzale Ezio Tarantelli	
29	41,8031	12,4524	Parcheeggio	Parcheeggio Ifo Regina Elena - S.gallicano	
30	41,8319	12,4629	Parcheeggio	Officina Eur Srl	
31	41,8354	12,4661	Parcheeggio	Car Parking S.r.l.	
32	41,8336	12,466	Parcheeggio	Eur Parking Srl	

**Tabella 1: Elenco potenziali siti per apertura di stazioni di ricarica**

Dall'analisi dei dati appena descritti si è approcciato il problema con l'obiettivo di rispondere alle seguenti "research questions":

- q.1 - Definire il numero ottimale di stazioni di ricarica da attivare in base ad una logica di domanda/offerta e sostenibilità economica dell'investimento;
- q.2 - Definire la localizzazione delle stazioni di ricarica all'interno dell'area presa in esame, ovvero definire il sottoinsieme di stazioni da attivare delle 32 ipotizzate;
- q.3 - Dimensionare le stazioni di ricarica in termini di numero di prese e quindi di potenza massima installata per singola stazione;
- q.4 - Allocare gli utenti alle stazioni di ricarica aperte (output q.1 e q.2) per singola fascia oraria definendo un livello di servizio in termini di  $T_{attesa}$ ;
- q.5 - Definire i carichi temporali massimi di domanda di energia per singola stazione.

Il problema in esame è stato approcciato e risolto tenendo conto dei seguenti vincoli:

- v.1- La distanza che deve percorrere l'utente per raggiungere la stazione di servizio assegnata deve essere idonea alla carica ancora disponibile, in particolare ogni utente deve poter raggiungere la stazione di ricarica più vicina delle 32 proposte pena l'inammissibilità del problema;
- v.2- Tutti gli utenti devono essere assegnati ad una stazione di ricarica (conservazione della domanda);
- v.3 - Un cliente viene assegnato ad una sola stazione di ricarica;
- v.4 – Saranno attivate solo le stazioni in grado di garantire una sostenibilità economica di breve periodo;

Al fine di risolvere il problema sopra descritto si è utilizzato un approccio euristico guidato costruendo n scenari sulla base delle seguenti ipotesi:

- h1 - Si assume il punto di vista del designer/investitore privato della rete di infrastrutture di ricarica;
- h2 - Si assume l'ipotesi di monopolio dell'investitore sul territorio considerato, scenario che presuppone l'applicazione delle medesime condizioni di prezzo alle diverse stazioni di servizio ipotizzate;
- h3 - Si assume un tipo di servizio di ricarica veloce della durata standard di 30min;
- h4 - Si assume che la carica residua di ogni utente sia almeno sufficiente a raggiungere la stazione di ricarica più vicina altrimenti si considera l'inammissibilità dell'utente al problema;
- h5 - Il livello di servizio della rete è determinato in base allo scostamento tra il desiderio del cliente e la decisione del designer delle rete in termini di distanza e di istante temporale in cui viene erogato il servizio.

## 2.2 Definizione dell'approccio euristico-ottimizzatorio

Prima di vedere nel dettaglio i passaggi analitici messi in atto per la progettazione di una infrastruttura di ricarica sostenibile per il caso preso in esame, con la Figura 1 si propone una sintesi del metodo utilizzato per l'approccio al problema in modo tale da rendere il modello facilmente utilizzabile in altri contesti anche notevolmente differenti dal caso di studio ivi proposto.

**Fase 0:** Si definisce l'insieme delle potenziali stazioni di ricarica da attivare e la loro localizzazione. E' una fase preliminare allo studio che può essere condotta in maniera visiva o sulla base della conoscenza del territorio da analizzare facendo particolare riferimento a vincoli urbanistici, disponibilità delle aree, vicinanza a centri lavorativi o ludici di significativa aggregazione. La numerosità di questo insieme definito come  $S_n\{0\}$  è calcolata sulla base della Lower Bound delle stazioni necessarie a coprire la popolazione di utenti ipotizzata per l'area in esame. L'attivazione di tutte le stazioni di servizio incluse in  $S_n\{0\}$  presupporrebbe un investimento economico le cui risorse sono ipotizzate essere superiori a quelle disponibili.

**Fase 1:** Si allocano gli utenti distribuiti in base ai punti di sosta forniti dai dati in input al problema, alle  $n$  stazioni di ricarica previste nell'insieme  $S_n\{0\}$  risolvendo il problema noto in Ricerca Operativa come **Problema di Assegnamento** sulla base del **Criterio di Minima distanza**. Si eliminano quindi le stazioni con 0 utenti allocati e si definisce il nuovo insieme  $S_n\{1\}$  avente una numerosità di stazioni inferiore all'insieme  $S_n\{0\}$ . L'eliminazione delle stazioni con 0 utenti allocati dall'insieme delle possibili stazioni da aprire si basa sulla considerazione che tali stazioni non sarebbero in grado di sostenersi economicamente e di ripagare l'investimento sostenuto avendo un profilo di ricavo nullo.

**Fase 2:** Si analizza il numero di utenti allocati alle singole stazioni e sulla base di un **Criterio di Sostenibilità economica** si pone un limite inferiore dell'ordine, per esempio, di almeno  $K$  utenti serviti in una settimana e si eliminano dall'insieme  $S_n\{1\}$  tutte le stazioni che non raggiungono quel limite imposto di domanda servita. L'insieme  $S_n\{2\}$  ha una numerosità di stazioni inferiore all'insieme  $S_n\{1\}$  e di conseguenza di  $S_n\{0\}$ . Il Criterio di sostenibilità economica si basa sul principio di minima sostenibilità della stazione di ricarica, ovvero di copertura dei costi di gestione e di una piccola parte dei costi di investimento. Un numero di utenti troppo piccolo non sarà in grado di coprire questi costi e pertanto la stazione in esame non può rientrare nell'insieme di quelle candidate ad essere aperte (insieme  $S_n\{2\}$ ).

**Fase 3:** Sulla base dell'ipotesi di conservazione della domanda, si riassegna l'intera popolazione di utenti alle sole stazioni attivate e presenti in  $S_n\{2\}$ , e si definisce un livello di servizio complessivo della rete come

il numero degli utenti serviti alla stazione scelta su numero di utenti serviti alla stazione imposta dal designer della rete. Il livello di servizio della rete sarebbe pari al 100% se tutti gli utenti potessero recarsi alla stazione a loro più vicina. Scegliendo di attivare un numero minore di stazioni di ricarica si impone una scelta agli utenti differente da quella per loro ottimale. Il rapporto tra i clienti soddisfatti al 100% ed il totale dei clienti determina il Livello di servizio complessivo della rete.

Questo livello di servizio viene anche commisurato sulla base della distanza delle assegnazioni effettuate dal progettista. In tale fase di assegnamento la rete viene supposta di **Capacità Infinita** ovvero capace di accogliere tutti gli utenti senza la definizione di un tempo di attesa.

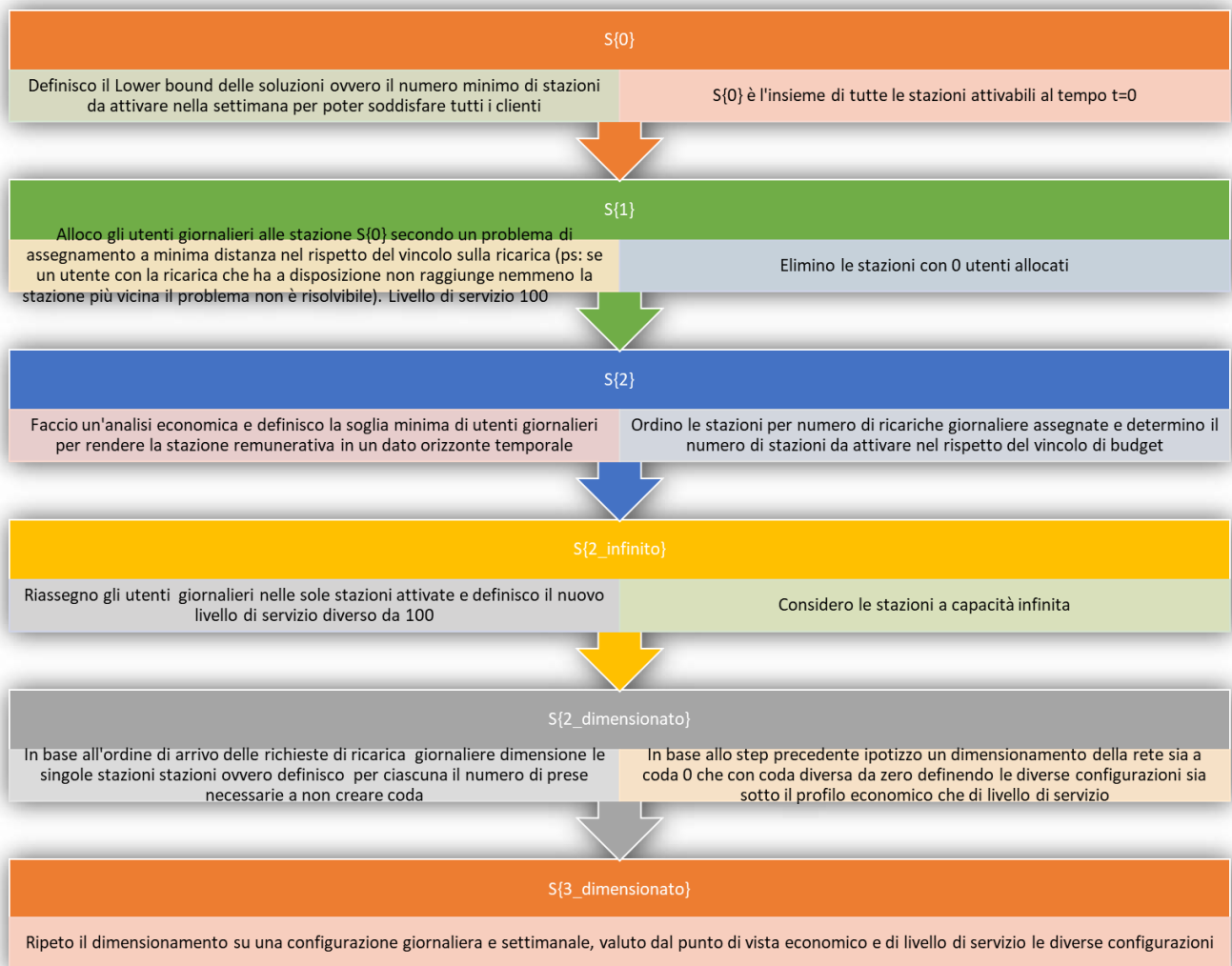
**Fase 4:** Entrando sempre più nel dettaglio della progettazione della rete, e analizzando i flussi di arrivo temporali alle stazioni (ore minuti e giorno) si dimensiona la stazione aperta in termini di numero di prese introducendo un **Vincolo di capacità** determinato sia da aspetti tecnici che economici. Sulla base di questo dimensionamento si definisce un **livello di servizio alla stazione** calcolato sulla base dei tempi di attesa degli utenti alle singole stazioni di servizio. A questo livello decisionale si stabiliscono ad esempio il numero di prese necessarie per singola stazione aperta sulla base degli istanti temporali di arrivo degli utenti. L'analisi svolta mostra come la soluzione ottimale di dimensionamento viene selezionata sulla base di un trade-off tra il tempo di attesa ed il numero di prese contemporanee attive.

**Fase 5:** Si definiscono degli scenari di dimensionamento e localizzazione della rete caratterizzati da:

- Numero e posizione delle stazioni da attivare
- Numero di prese da aprire per singola stazione attivata
- Numero di clienti allocati ad ogni stazione e ad ogni presa
- Livello di servizio della rete calcolato come indicato nella Fase 4 del processo risolutivo
- Livello di servizio della stazione calcolato come indicato nella Fase 5 del processo risolutivo

Per ogni scenario proposto si analizza la convenienza economica definendo una offerta in termini di prezzo del servizio di ricarica ed una domanda risultante dal processo risolutivo sopra descritto attendendo come output un orizzonte temporale di recupero dell'investimento sia in condizione di presenza che assenza di incentivi governativi.

Nei paragrafi seguenti si forniscono ulteriori dettagli sulle operazioni che hanno coinvolto le Fasi dalla 2 alla 5 in quanto la Fase 1 risulta già discussa nel paragrafo 1 del presente capitolo.



**Figura 1: Approccio risolutivo euristico ottimizzatorio**

### 2.3 Rappresentazione matematica del problema di attivazione delle stazioni di ricarica con assegnamento degli utenti alle sole stazioni attive – Fase 1 del Processo Decisionale

Per la rappresentazione matematica del problema che si intende risolvere si è utilizzato un modello noto nell'ambito della Ricerca Operativa come Problema di Assegnamento. La Ricerca Operativa è una disciplina avente come oggetto lo studio e la messa a punto di metodologie e strumenti quantitativi per la soluzione di problemi decisionali. Nata in ambito militare ad oggi trova applicazione in numerosissimi contesti, da quello informatico, organizzativo, logistico, produttivo e di finanza.

Tutti i problemi decisionali rappresentati in maniera analitica per cui si ricerca una soluzione ottima o sub-ottima sono noti come problemi di ottimizzazione risolvibili o con algoritmi esatti o come nel caso di studio in esame con algoritmi euristici-ottimizzatori.

Nel dettaglio è possibile formulare come di seguito mostrato il problema di allocazione degli utenti alle stazioni attivate:

*Definizione degli insiemi di dati*

Sia  $M = \{1..i..m\}$  insieme di cliente che necessitano di un servizio di ricarica.

Sia  $N = \{1..j..n\}$  insieme di potenziali stazioni da attivare per il servizio di ricarica dislocato nell'area urbana studiata.

Sia  $Z = \{1..s..z\}$  insieme di punti di sosta rappresentativi della domanda da soddisfare.

I seguenti dati sono noti all'interno dell'oggetto di analisi dell'area urbana:

- $SOC_i$  distanza già percorsa dall'utente  $i$  ;
- $C_i$  carica elettrica iniziale per l'utente  $i$  ;
- Posizione $_j$  della potenziale stazioni di ricarica;
- Grazie ai dati disponibili è possibile calcolare la distanza  $D_{sij}$  tra il punto di sosta  $s$  dell'utente  $i$  e la stazione  $j$  in modo tale da procedere all'assegnamento utente-stazione attraverso la formulazione del seguente problema.

Come variabile si definisce  $x_{sij}$  binaria pari a 0 nel caso di mancata allocazione e pari ad 1 se l'utente  $i$  associato alla sosta  $s$  è destinato a ricaricare la propria auto presso la stazione  $j$ .

I vincoli (2), (3), (4) riportati nella formulazione matematica seguente, impongono (2) che ogni utente venga assegnato ad una sola stazione; (3) che l'utente abbia ricarica sufficiente a raggiungere la stazione; (4) la binarietà della decisione o l'utente viene allocato alla stazione o non viene allocato. L'equazione (1) rappresenta la funzione obiettivo del problema da minimizzare essendo rappresentativa della distanza tra il punto di sosta  $s$  dell'utente  $i$  e la stazione  $j$  ad esso allocata attraverso la variabile decisionale  $x_{sij}$

$$Min \sum_{i=1}^M \sum_{s=1}^Z \sum_{j=1}^N D_{sij} * x_{sij} \tag{1}$$

$$\sum_{s=1}^Z \sum_{j=1}^N x_{sij} = 1 \quad \forall i \tag{2}$$

$$\sum_{s=1}^Z \sum_{j=1}^N D_{sij} * x_{sij} \leq Ci - SOC_i \quad (3)$$

$$x_{sij} \in \{0,1\} \quad (4)$$

Il problema presenta una complessità ridotta e quindi di semplice risoluzione in quanto l'insieme delle soluzioni da esplorare è limitato e di piccole dimensioni, tali da rendere risolvibile all'ottimo il problema posto in un tempo di porzioni di secondo. La complessità del problema aumenta all'aumentare nel numero di variabili, anche se solitamente sono problemi che non necessitano di euristiche complesse in quanto risolvibili all'ottimo anche con il semplice metodo del Simplex.

#### 2.4 Applicazione del criterio di Sostenibilità Economica – Fase 2 del Processo Decisionale

In questa fase del processo decisionale si determina il numero minimo di utenti necessario per garantire la sostenibilità economica dell'investimento caratterizzato da una configurazione minima di stazione di ricarica. Nel caso in esame si è ipotizzata una configurazione minima composta da una sola stazione Multistandard Fast Charge con 3 prese capace di supportare tutti gli standard e di erogare servizi di ricarica multipli per un tempo massimo di ricarica a pieno di 30 minuti. Queste infrastrutture sono in grado di supportare sino a tre veicoli allo stesso tempo e con tre diverse modalità di ricarica: 50kW DC, 43 kW AC e 22 kW AC, oltre a consentire il controllo e la manutenzione da remoto attraverso la connettività 3G. Sono le infrastrutture scelte da Enel per il progetto Eva+ (Electric Vehicles Arteries), progetto che con un budget di 8,5 milioni di euro finanziati per metà dalla UE, prevede la creazione di una infrastruttura di ricarica completa, efficiente e ad alte prestazioni lungo i principali assi viari di Italia e Austria (180 stazione in Italia e oltre 20 in Austria). Tra i principali partner di progetto la società elettrica Verbund e le case automobilistiche Renault, Nissan, BMW e Volkswagen.

Sulla base di tale assunzione si sono costruiti i costi di investimento e gestione tutti comprensivi di iva così sintetizzabili:

- costi per la manutenzione ordinaria (stimati di circa € 1.000,00 l'anno)
- costi di gestione clienti, fatturazione, prenotazioni, gestione reclami (stimati di circa € 1.500,00 l'anno)
- costi per assicurazioni, gestione amministrativa e contabile (stimati di circa € 3.500,00 l'anno)
- costi per energia erogata (numero servizi erogati/giorno \* giorni/anno \* €/Kwh \* KW \* h con una ipotesi di:
  - 310 giorni minimi di servizio l'anno,
  - 0,2 €/Kwh per il costo dell'energia,

- 40 KW di potenza installata erogata dalla stazione per
- 0.5h per un pieno di ricarica elettrica)

- costi di ammortamento dell’investimento (costo di acquisto della stazione, costo di allaccio alla rete, costo di progettazione ed installazione rispettivamente così stimato

- Costo di acquisto della stazione di erogazione Fast Charge 3 prese € 39.269,36
- Costo di allaccio alla rete € 3.500 pari a € 70° KW installato per 40 KW di potenza
- Costo di progettazione, installazione e collaudi pari ad € 2.500,00)

Quantificando le spese sopra dettagliate e ipotizzando un ricavo dalla vendita dei servizi di ricarica completa di € 8 a ricarica comprensivo di iva e corrispondente al costo dichiarato da Enel Drive Free ovvero 0,40€/Kwh, supponendo una ricarica di mezz’ora a 40KW di potenza.

Grazie al procedimento appena descritto è stato possibile determinare il numero minimo di utenti giornalieri o settimanali capaci di garantire la sostenibilità di medio-breve periodo (massimo 5 anni) per l’attivazione di una stazione a configurazione base. Per il caso in esame, come meglio esaminato dopo, tale numero minimo è stato determinato in almeno 100 utenti a settimana ovvero di 15 servizi di ricarica al giorno.

Ipotesi	UdM	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5
Prezzo servizio ricarica	€/ricarica	8	8	8	8	8
Numero servizi one shot	ricarica/giorno	15	15	15	15	15
Numero giorni di servizio	giorni/anno	310	310	310	310	310
Costo energia	€/Kwh	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ricarica completa	Kw	40	40	40	40	40
Tempo di ricarica	h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Costo investimento 1 stazione Fast Charge 3 prese	€	€ 39.269,36				
Costo allaccio	€	€ 3.500,00				
Costo progettazione, installazione, collaudi	€	€ 3.000,00				
Totale investimento		€ 45.769,36				
Interessi passivi (4% in 5 anni)		€ 4.805,39				

**Tabella 2: Ipotesi per analisi economica di installazione di una stazione di servizio con configurazione base**

Le ipotesi suddette sono state utilizzate per una analisi economica con Valore Attuale Netto (VAN) positivo su di un orizzonte temporale massimo di recupero dell’investimento di anni 5. Rendimenti annuali maggiori

sarebbero possibili considerando un orizzonte temporale di recupero dell'investimento più ampio (oltre 5 anni). Questa ipotesi non è però sostenibile a causa della rapida evoluzione tecnologica a cui sono soggette le attrezzature oggetto di investimento. La rapidità con cui le case produttrici immettono nel mercato prodotti sempre più performanti e con costi ridotti, è ragione sufficiente per ipotizzare una vita utile dell'attrezzature acquistata non superiore ai 5 anni presupposti per il recupero dell'investimento.

La Tabella sotto riportata mostra come le ipotesi poste al problema conducano ad un VAN positivo seppure con margini di guadagno veramente esigui e non sufficienti a sostenere la fattibilità economica dell'investimento qualora fosse l'unica fonte di reddito di una attività di servizio o commerciale.

Configurazione stazione di Base	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5
Ricavi da ricarica	€ 37.200,00	€ 37.200,00	€ 37.200,00	€ 37.200,00	€ 37.200,00
<b>Totale Ricavi</b>	<b>€ 37.200,00</b>	<b>€ 37.200,00</b>	<b>€ 37.200,00</b>	<b>€ 37.200,00</b>	<b>€ 37.200,00</b>
Manutenzione ordinaria	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00
Gestione clienti, fatturazione, prenotazioni, oneri connessi	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00	€ 1.500,00
Spese generali assicurative commercialista etc	€ 3.500,00	€ 3.500,00	€ 3.500,00	€ 3.500,00	€ 3.500,00
Utenza energia erogata	€ 18.600,00	€ 17.920,00	€ 17.920,00	€ 17.920,00	€ 17.920,00
<b>Totale Costi di produzione</b>	<b>€ 24.600,00</b>	<b>€ 23.920,00</b>	<b>€ 23.920,00</b>	<b>€ 23.920,00</b>	<b>€ 23.920,00</b>
<b>MOL</b>	<b>€ 12.600,00</b>	<b>€ 13.280,00</b>	<b>€ 13.280,00</b>	<b>€ 13.280,00</b>	<b>€ 13.280,00</b>
Ammortamento acquisto e installazione	€ 9.153,87	€ 10.291,15	€ 10.291,15	€ 10.291,15	€ 10.291,15
<b>Risultato Operativo (Ebit)</b>	<b>€ 3.446,13</b>	<b>€ 2.988,85</b>	<b>€ 2.988,85</b>	<b>€ 2.988,85</b>	<b>€ 2.988,85</b>
Oneri finanziari	€ 961,08	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00	€ 120,00
<b>Risultato ante imposte</b>	<b>€ 2.485,05</b>	<b>€ 2.868,85</b>	<b>€ 2.868,85</b>	<b>€ 2.868,85</b>	<b>€ 2.868,85</b>
IRAP/IRPEF/IRES	€ 828,35	€ 956,28	€ 956,28	€ 956,28	€ 956,28
<b>Risultato netto</b>	<b>€ 1.656,70</b>	<b>€ 1.912,57</b>	<b>€ 1.912,57</b>	<b>€ 1.912,57</b>	<b>€ 1.912,57</b>
<b>VAN</b>	<b>€ 8.438,58</b>				

**Tabella 3: Analisi economica di installazione di una stazione di servizio con configurazione base su un orizzonte temporale di recupero dell'investimento di anni 5**

### 3 Definizione delle attività svolte e dei risultati conseguiti per il caso di studio specifico

#### Fase 0

Nella Fase 0 del processo risolutivo adottato per risolvere il problema di progettare una infrastruttura sostenibile per la ricarica elettrica del quartiere Eur di Roma, si è provveduto ad individuare sulla sola base visiva della mappa del quartiere 32 potenziali punti per l'apertura di stazioni di ricarica da parte di un

soggetto gestore/investitore. Le 32 potenziali localizzazioni sono elencate nella Tabella 1 e rappresentate nella Figura 2 di seguito riportata.



**Figura 2: Localizzazione potenziali punti di ricarica**

### Fase 1

Per ogni stazione, attraverso un semplice programma sviluppato in VBA (Microsoft), si sono prima calcolate le distanze  $D_{sij}$  per ogni coppia “sosta utente-potenziale punti di domanda” poi si è risolto all’ottimo il problema ottimizzatorio formulato nel paragrafo 2.3 della presente trattazione, ottenendo una allocazione ottimale di ogni utente alla stazione più vicina delle 32 ipotizzate. Nei file Excel parte integrante del lavoro svolto è possibile visualizzare con esattezza le risultanze di quanto descritto in questa sezione.

Dei 3071 punti di sosta analizzati come punti di domanda, questi sono gli output allocativi rispetto alle potenziali stazioni da attivare. Da quanto mostrato in Figura 3 saranno sicuramente eliminate dall’insieme della possibili soluzioni, ovvero delle possibili stazioni da attivare, le stazioni così numerate: 2, 9, 12, 22 in quanto nessun utente tra i 3071 previsti ha scelto di rifornirsi da queste potenziali stazioni.

Se  $S_n\{0\}$  aveva una numerosità di 32 elementi,  $S_n\{1\}$  ha una risultante numerosità di 28 elementi, Figura 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	TOTALE
44	0	44	57	23	36	18	190	0	79	573	0	67	24	396	80	67	86	5	86	10	0	104	44	52	69	142	244	84	284	90	73	3071

**Figura 3: Output Fase 1 – Numero di clienti servibili da ogni singola stazione appartenente all’insieme Sn{1}**

## Fase 2

Dall’analisi dei risultati conseguiti dalla Fase 2 è possibile vedere come alcune potenziali stazioni di servizio, ad esempio la numero 15 o la numero 28, abbiano la possibilità di garantire una sostenibilità economica maggiore rispetto ad altre stazioni potenziali, quali ad esempio la numero 21, alla quale risultano allocati solo 10 utenti nell’intera settimana. Forte di questa considerazione si è deciso di porre un **Vincolo di sostenibilità** pari a **100 utenti la settimana** elaborato come descritto nel paragrafo precedente. Variazioni nel processo risolutivo decisionale di questa fase potrebbero prevedere non un limite minimo di stazioni servite, ma ad esempio un limite di spesa. In questo secondo caso si potrebbero ordinare in maniera decrescente le stazioni potenziali in base al numero di utenti serviti e decidere di attivare quelle che rientrano nel budget fissato. Per il caso in esame si è scelto di porre come vincolo un numero minimo di utenti serviti (100) tale da arrivare ad una numerosità di Sn{2} pari a 7 stazioni contro le 32 potenziali iniziali, Figura 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	TOTALE
44	0	44	57	23	36	18	190	0	79	573	0	67	24	396	80	67	86	5	86	10	0	104	44	52	69	142	244	84	284	90	73	3071

**Figura 4: Output Fase 2 – Stazioni con almeno 100 utenti serviti a settimana**

Le stazioni da attivare per la definizione di una infrastruttura di ricarica veloce a servizio del quartiere Eur di Roma saranno le stazioni contrassegnate dai numeri **8, 11, 15, 23, 27, 28 e 30**, ovvero quelle di seguito rappresentante, Figura 5:



**Figura 5: Mappa delle stazioni di servizio attivate**

Essendo il criterio di risoluzione del problema ottimizzatorio basato sulla distanza, ne consegue che la scelta delle stazioni da attivare tra le 32 potenziali è dettato dalla prossimità delle stazioni ai punti di domanda. Una differente collocazione dei punti di sosta condurrebbe a conclusioni anche notevolmente differenti in termini di localizzazione dei punti di ricarica elettrica.

Per quanto riguarda la **definizione del livello di servizio della rete** è possibile affermare che 1933 utenze verranno servite esattamente dalla stazione prescelta, mentre le altre risultano allocate alla più vicina tra le stazioni attivate. In maniera esatta il livello di servizio della rete può essere definito pari al 63% della domanda. Di significativa valutazione però risultano anche i seguenti dati risultanti dalla Fase 2 del processo decisionale, avente come stazioni attivate solo le numero 8, 11, 15, 23, 27, 28, 30:

- 63% degli utenti servizi esattamente dalla stazione prescelta;
- 80% degli utenti serviti esattamente dalla stazione prescelta e cmq nel raggio di 100 metri dalla stazione prescelta;
- 97% degli utenti serviti esattamente dalla stazione prescelta e cmq nel raggio di 500 metri dalla stazione prescelta.
- Solo il 3% degli utenti dovrebbe percorrere una distanza superiore a 500mt per effettuare una ricarica per la propria auto elettrica.

Come conclusione di questa fase del processo decisionale è possibile affermare che con solo **7 aperture di stazioni di servizio** rispetto alle 32 ipotizzate inizialmente si riesce a coprire quasi l'intera domanda fissata dai dati in ingresso accettando una tolleranza di spostamento di 500 mt rispetto ai desiderata degli utenti.

L'ipotesi di **conservazione della domanda** è un dato di forte impatto per l'analisi del problema basata per lo più sulla teorica condizione di monopolio per l'erogazione del servizio di ricarica nell'area presa in considerazione. Ponendo tali condizioni l'utente razionale non potrà non effettuare la ricarica e pertanto sarà costretto ad indirizzarsi verso una stazione aperta accettando anche un tempo di attesa diverso da zero non avendo alternative per l'assunzione del servizio.

### Fase 3

Dalle risultanze della Fase 2 riscontriamo per ogni stazione attivata appartenente all'insieme  $S_n\{2\}$  che per ogni stazione possibile ricostruire un piano temporale di arrivi degli utenti assegnati alle singole stazioni. Per sintesi espositiva si riportano le risultanze specifiche della sola stazione 8, il procedimento è stato ripetuto in maniera perfettamente identica per tutte le 7 stazioni attivate ed i risultati sono consultabili nei file Microsoft-Excel allegati alla presente trattazione.

Prendendo in esame la stazione n. 8 si è proceduto a distribuire in maniera puntuale gli arrivi alla stazione considerando il momento di arrivo, di ricarica (30 minuti) e di partenza in modo tale da determinare anche i tempi di attesa per gli utenti con arrivo successivo.

La Tabella 2 riporta una estrapolazione dei 298 arrivi degli utenti assegnati alla Stazione 8 durante la settimana di disponibilità dei dati.

ID_sosta	ID_trajectory,	T_sosta (UNIX)	T_arrivo	T_ricarica (UNIX)	T_partenza
11	321169	1367814283	6/5/13 4.24	1367816083	6/5/13 4.54
35	599968	1367817952	6/5/13 5.25	1367819752	6/5/13 5.55
44	499988	1367818428	6/5/13 5.33	1367820228	6/5/13 6.03
50	922813	1367818587	6/5/13 5.36	1367820387	6/5/13 6.06
54	168169	1367819096	6/5/13 5.44	1367820896	6/5/13 6.14
56	698052	1367819198	6/5/13 5.46	1367820998	6/5/13 6.16
100	1080859	1367821197	6/5/13 6.19	1367822997	6/5/13 6.49
115	369544	1367821804	6/5/13 6.30	1367823604	6/5/13 7.00
143	435173	1367822498	6/5/13 6.41	1367824298	6/5/13 7.11
145	59632	1367822571	6/5/13 6.42	1367824371	6/5/13 7.12

**Tabella 4: Estrapolazione primi arrivi alla stazione di ricarica n. 8**

In maniera aggregata è possibile affermare che, come per tutte le stazioni, la fascia oraria a maggiore intensità di domanda di ricarica sia quella compresa tra le ore 15.01 e le ore 18.00, di poco superiore alla richiesta di servizi di ricarica nella fascia orario compresa tra le ore 9.01 e 12.00, Figura 6.

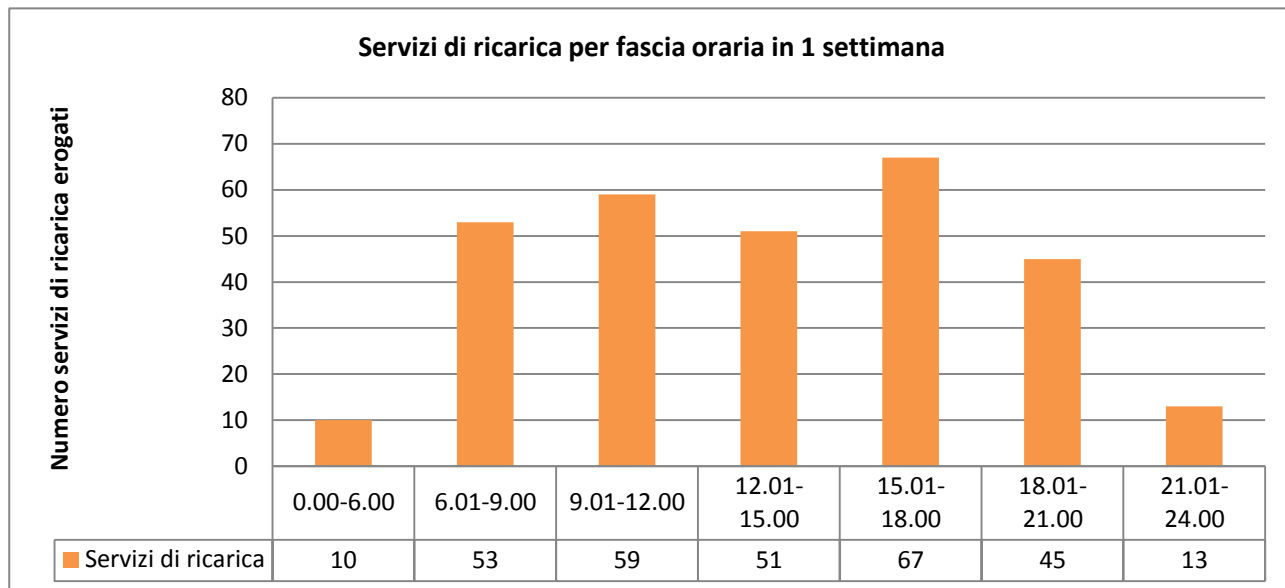


Figura 6: Orizzonte temporale di arrivi di utenti alla stazione 8 nella settimana esaminata

Una così fatta assegnazione però risulterebbe contemplare una capacità infinita di accoglienza degli utenti alla stazione, ipotesi estremamente irrealistica sia dal punto di vista tecnico (potenza installata per ogni stazione/numero di prese installate) sia dal punto di vista economico.

#### Fase 4

Al fine di rimuovere la forte assunzione posta nella Fase 3 di capacità infinita di accoglienza di utenti alla stazione, si è deciso di implementare una procedura in VBA (Excel) così strutturata: al primo utente che arriva alla stazione viene assegnata una presa di ricarica, al secondo utente viene assegnata la stessa presa se la differenza tra il tempo di arrivo del secondo utente e quello di arrivo del primo utente è maggiore del tempo di ricarica (30 minuti), se non si verifica questa ipotesi viene assegnata una nuova presa.

Questa procedura permette di definire il dimensionamento della stazione in termini di numero di prese e quindi di potenza installata in base ad un determinato livello di servizio offerto alla stazione.

Supponendo un livello di servizio alla stazione pari al 100% ovvero una capacità di servire tutti gli utenti senza alcun tempo di attesa, alla stazione 8 sarebbe necessario attivare 25 prese come dimostrato nella Figura 7 successiva.



**Figura 7: Numero di prese da attivare alla stazione 8 con ipotesi di tempo di attesa pari a 0 e livello di servizio pari a 100%**

Questa soluzione appare non solo tecnicamente impraticabile, per via della potenza che sarebbe necessaria installare presso la stazione per servire contemporaneamente 25 autovetture elettriche, ma anche economicamente inefficiente in quanto, ad esempio, le prese da numero 16 a numero 25 servirebbero 1 solo utente la settimana, non rendendo sostenibile l'investimento di accensione di una nuova presa né di maggiore potenza installata.

Ponendo dei limiti di capacità finita della stazioni in termini di prese attivabili o di potenza massima installata, è possibile definire dei livelli di servizio alle stazioni come di seguito indicato:

- LdS\_stazione\_8: con 7 prese si riesce a soddisfare l'83% degli utenti supponendo un T\_attesa pari 0;
- LdS\_stazione\_8: con 6 prese si riesce a soddisfare l'79% degli utenti supponendo un T\_attesa pari 0;
- LdS\_stazione\_8: con 8 prese si riesce a soddisfare il 98% degli utenti supponendo un T\_attesa pari 10min;
- LdS\_stazione\_8: con 6 prese si riesce a soddisfare il 96% degli utenti supponendo un T\_attesa pari 10min;

I risultati derivanti dall'implementazione del processo decisionale alla Fase 4 sono interessanti soprattutto se visti in termini di integrità della domanda a parità di livello di servizio. Assunzione del presente studio è infatti quella per cui gli utenti non cambino stazione di servizio anche qualora il tempo di attesa sia diverso da zero. Questo permette di mantenere integra la domanda allocata semplicemente riconoscendo un livello di servizio alla stazione inferiore del 100%. Per la stazione 8 si riporta di seguito l'analisi economica svolta per lo Scenario scelto avente le seguenti caratteristiche:

Scenario	UdM	0
Stazione		8
Numero prese		6
Numero stazioni Fast charge		2
Numero utenti servizi	u/settimana	286
Livello di attesa massimo alla stazione	min	10
Livello di servizio della stazione	%	96%
Massima distanza dal punto prescelto alla stazione assegnata	mt	500
Livello di servizio della rete	%	97%

La scelta dello scenario viene effettuata facendo variare il numero di prese attivabili e quindi il numero di stazioni Fast Charge e quindi il livello di servizio e scegliendo lo scenario con VAN (Valore Attuale Netto) più alto.

Sulla base delle ipotesi economiche prestante nei paragrafi precedenti e per la configurazione scelta dal decisore per la stazione 8 si ottiene un VAL positivo del valore di 83.436 con un risultato netto di circa € 18.000,00 l'anno.

Configurazione Stazione 8	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5
Ricavi da ricarica	€ 118.976,00	€ 118.976,00	€ 118.976,00	€ 118.976,00	€ 118.976,00
Totale Ricavi	€ 118.976,00	€ 118.976,00	€ 118.976,00	€ 118.976,00	€ 118.976,00
Manutenzione ordinaria	€ 2.000,00	€ 2.000,00	€ 2.000,00	€ 2.000,00	€ 2.000,00
Gestione clienti, fatturazione, prenotazioni, oneri connessi	€ 3.000,00	€ 3.000,00	€ 3.000,00	€ 3.000,00	€ 3.000,00
Spese generali assicurative commercialista etc	€ 7.000,00	€ 7.000,00	€ 7.000,00	€ 7.000,00	€ 7.000,00
Utenza energia erogata	€ 59.488,00	€ 59.488,00	€ 59.488,00	€ 59.488,00	€ 59.488,00
Totale Costi di produzione	€ 71.488,00	€ 71.488,00	€ 71.488,00	€ 71.488,00	€ 71.488,00
MOL	€ 47.488,00	€ 47.488,00	€ 47.488,00	€ 47.488,00	€ 47.488,00
Ammortamento acquisto e installazione	€ 18.307,74	€ 18.307,74	€ 18.307,74	€ 18.307,74	€ 18.307,74
Risultato Operativo (Ebit)	€ 29.180,26	€ 29.180,26	€ 29.180,26	€ 29.180,26	€ 29.180,26
Oneri finanziari	€ 1.649,18	€ 1.649,18	€ 1.649,18	€ 1.649,18	€ 1.649,18
Risultato ante imposte	€ 27.531,08	€ 27.531,08	€ 27.531,08	€ 27.531,08	€ 27.531,08
IRAP/IRPEF/IRES (30%)	€ 9.177,03	€ 9.177,03	€ 9.177,03	€ 9.177,03	€ 9.177,03
Risultato netto	€ 18.354,05	€ 18.354,05	€ 18.354,05	€ 18.354,05	€ 18.354,05

## Fase 5

Sulla base dei risultati conseguiti nelle Fasi precedenti è possibile affermare come per ogni stazione è stato possibile definire una configurazione ottimale in termini di sostenibilità economica e remunerabilità dell'investimento fino ad ottenere la configurazione di rete sotto riportata.

Scenario	UdM	0	0	2	0	0	0	0	TOTALE RETE
Stazione		8	11	15	23	27	28	30	
Numero prese		6	12	18	12	9	6	9	72

Numero stazioni Fast charge		2	4	6	4	3	2	3	24
Numero utenti servizi	u/settimana	286	532	623	376	268	225	360	2670
Livello di attesa massimo alla stazione	min	10	10	10	10	10	10	10	10
Livello di servizio della stazione	%	96%	81%	82%	87%	95%	92%	89%	89%
Massima distanza dal punto prescelto alla stazione assegnata	mt	500	500	500	500	500	500	500	500
Livello di servizio della rete	%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%

**Tabella 5: Configurazione globale delle rete**

Tutte le analisi economiche riportate nei fogli Excel allegati al presente Report sono state effettuate su un orizzonte temporale di 5 anni. Le ipotesi poste al problema sono tutte rispondenti ai dati reali correnti eccetto il parco circolante dei veicoli elettrici assunto dell'ordine del 6% contro l'attuale 1% del rapporto tra veicoli elettrici e veicoli a trazione tradizionale sul territorio circolante nazionale. Sulla base di questa forte ipotesi i progetti di investimento risultano remunerativi in un periodo medio-breve. Rimangono due aspetti da valutare con attenzione: (i) la rapida evoluzione tecnologica dell'infrastruttura di ricarica potrebbe necessitare di tempi di recupero dell'investimento più brevi di quello ipotizzato; (ii) come supportare finanziariamente tali investimenti nell'attesa di raggiungere una domanda prossima a quella ipotizzate nel presente studio. Un sistema di incentivazione pubblico potrebbe assorbire parte del rischio imprenditoriale di investimento in questo settore considerando anche la necessità impellente di soddisfare gli obiettivi imposti per il 2020 dalla Comunità Europea.

La metodologia impiegata costituisce comunque un valido supporto decisionale al dimensionamento di una rete sostenibile per la ricarica elettrica anche al variare delle condizioni a contorno sia in termini di domanda che di costi o ricavi. L'implementazione nel quartiere Eur di Roma ne dimostra le potenzialità anche se lo strumento è da considerarsi totalmente indipendente dalla posizione territoriale di investigazione.

## 4 Conclusioni e opportunità di ricerca future

Lo studio condotto aveva l'obiettivo di sviluppare uno strumento di supporto alla decisione per la progettazione di una rete di infrastruttura di ricarica economicamente e tecnicamente sostenibile. La progettazione della rete è stata condotta prendendo in esame sia l'aspetto numerico e localizzativo che quello dimensionale partendo dalla conoscenza di alcuni dati supposti essere riconducibili alla domanda di servizi di ricarica nell'area oggetto di studio. Ipotesi stringenti dello studio, da rimuovere in successivi lavori di ricerca, sono stati la supposizione di un mercato monopolistico di un solo operatore capace di offrire lo stesso servizio di ricarica allo stesso prezzo in tutte le stazioni di servizio attivate.

E' intenzione degli autori di questa ricerca approfondire questo aspetto proponendo nei prossimi sviluppi analisi sull'impatto del prezzo in un processo decisionale presupponendo l'esistenza sul territorio di soggetti economici diversi (oligopolio) capaci di offrire servizi di ricarica a condizioni di prezzo differenti. Con la rimozione dell'ipotesi di mercato monopolistico, gli utenti non avrebbero più come unico criterio di scelta la minor distanza, ma potrebbero optare per il minor costo o il miglior servizio.

Sarebbe interessante quindi capire se le scelte progettuali di localizzazione e dimensionamento della infrastruttura cambierebbero la loro configurazione sulla base di queste differenti ipotesi al problema.

Introducendo l'aspetto di pricing nello studio, sarebbe sicuramente utile studiare, analizzare e comparare diversi modelli di business per evidenziare come non solo la disponibilità fisica della rete, ma anche la modalità di erogazione del servizio possa impattare sulla sostenibilità degli investimenti nel settore delle infrastrutture di ricarica elettrica.

Ouput di questo futuro lavoro sarebbe anche la definizione di una soglia minima di investimento pubblico necessario per sostenere lo sviluppo dell'infrastruttura di ricarica nazionale almeno nel prossimo triennio.

## 5 Approfondimenti

### 5.1 Gruppo di ricerca coinvolto nello studio

Il gruppo di ricerca impegnato nel progetto è composto da professori e ricercatori con competenze in molti ambiti dell'ingegneria meccanica ed energetica-gestionale, con particolare riferimento ai sistemi di propulsione a basso impatto ambientale, alle tecniche e alle tecnologie per la mobilità sostenibile, all'utilizzo di sistemi efficienti di produzione dell'energia e alla definizione di soluzione tecnico-economico sostenibili nel tempo.

L'approccio di ottimizzazione numerica è stato supportato da una continua fase di test e analisi dati sul campo al fine di validare le procedure e i benefici delle soluzioni proposte ed implementate. Nella metodologia è compresa la definizione di un approccio euristico-ottimizzatorio utilizzabile anche in contesti diversi da quello per il quale è stato creato, capace di supportare la progettazione in termini di localizzazione e dimensionamento di stazioni di ricarica elettrica in area urbana.

Il gruppo di ricerca coinvolto nelle attività relative alla definizione di una infrastruttura sostenibile per la ricerca elettrica è così composto:

- Stefano Ubertini, professore ordinario di Macchine e Sistemi per l'Energia e l'Ambiente, direttore del DEIM presso Università della Tuscia;
- Ilaria Baffo, professore a contratto dei corsi di Impianti Industriali e Gestione dei progetti e degli impianti industriali e assegnista di ricerca in ambito industriale-gestionale;
- Giuseppe Calabrò, professore associato di Elettrotecnica;
- Stefano Rossi, ricercatore di Misure Meccaniche e Termiche.

## 5.2 Schede di lavorazione dimensionamento rete di ricarica elettrica

- Stazione\_8 (Selezione stazioni, allocazione utenti alle stazioni attivate, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Stazione\_11 (allocazione utenti alla stazione, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Stazione\_15 (allocazione utenti alla stazione, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Stazione\_23 (allocazione utenti alla stazione, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Stazione\_27 (allocazione utenti alla stazione, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Stazione\_28 (allocazione utenti alla stazione, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Stazione\_30 (allocazione utenti alla stazione, dinamica di arrivo degli utenti alla stazione e selezione del numero di prese in base al tempo di attesa = 0, ovvero tempo di attesa =10minuti)
- Analisi economico finanziaria (tool di simulazione della redditività di diversi scenari di configurazione per ogni singola stazione attivata, riepilogo di configurazione globale delle rete di infrastruttura per la ricarica dei veicoli elettrici)

## 6 Abbreviazioni ed acronimi

DAFI	Directive alternative fuel initiative;
GPL	Gas di Petrolio Liquefatti;
ICCT	International Council on Clean Transportation;
MCDM	Multi-Criteria Decision Making;
MIT	Ministero delle infrastrutture e dei trasporti;
PNire	Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricerca;
UNRAE	Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri.

## 7 Riferimenti bibliografici

- [1] Yongxi Huang, & Yan Zhou. (March 2015, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 52, Pages 144-155). An optimization framework for workplace charging strategies. Tratto da Elsevier Journal: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15000303?via%3Dihub>
- [2] Charging Infrastructure Planning for Promoting Battery Electric Vehicles:. (s.d.). Tratto da [https://www.researchgate.net/publication/259139423\\_Charging\\_infrastructure\\_planning\\_for\\_promoting\\_battery\\_electric\\_vehicles\\_An\\_activity-based\\_approach\\_using\\_multiday\\_travel\\_data?enrichId=rgreq-5f8daf65e5e708abc3eb66307c40297b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdl](https://www.researchgate.net/publication/259139423_Charging_infrastructure_planning_for_promoting_battery_electric_vehicles_An_activity-based_approach_using_multiday_travel_data?enrichId=rgreq-5f8daf65e5e708abc3eb66307c40297b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdl)
- [3] Fang He, Yafeng Yin, & Jing Zhou. (November 2015, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 60, Pages 227-240). Deploying public charging stations for electric vehicles on urban. Tratto da Elsevier Journal: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15003198?via%3Dihub>
- [4] Guerriero, M., Caretto, G., & Giardinelli, V. (Giugno 2017). Il Libro Bianco sull'auto elettrica. Facciamo l'E-mobility. Roma: Start Magazine, Innovative Publishing.
- [5] La strategia Europa 2020. (s.d.). Tratto da [https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy\\_it](https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy_it)
- [6] Trasporti 2050: la Commissione delinea un piano ambizioso per incrementare la mobilità e ridurre le emissioni. (s.d.). Tratto da [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-11-372\\_it.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-372_it.htm)
- [7] DIRETTIVA 2009/33/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO. (s.d.). Tratto da <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0033>
- [8] REGOLAMENTO (CE) n. 443/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO. (s.d.). Tratto da <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A32009R0443>
- [9] Veicoli verdi: una strategia europea. (s.d.). Tratto da <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aen0020>
- [10] DIRETTIVA 2014/94/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO. (s.d.). Tratto da <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>
- [11] Classifica dei primi 10 modelli di autovetture e fuoristrada immatricolati in Italia, con il dettaglio per alimentazione: benzina, diesel, gpl, metano, ibride ed elettriche. (s.d.). Tratto da [http://www.unrae.it/files/06%20novembre%202017%20alimentazione\\_5a2167a6965d2.pdf](http://www.unrae.it/files/06%20novembre%202017%20alimentazione_5a2167a6965d2.pdf)