



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

FACOLTÀ DI STUDI UMANISTICI

CORSO DI LAUREA IN DATA SCIENCE, BUSINESS ANALYTICS
E INNOVAZIONE

New York's EV charging infrastructures
Network Analysis

Relatore:

Prof. Stefano Matta

Tesi di laurea di:

Dr. Marco Cossu

Anno accademico 2021-2022

INDICE

- Introduzione
- Capitolo 1 – Mobilità Sostenibile
- Capitolo 2 – Analisi
- Capitolo 3 – Risultati
- Conclusioni

Introduzione

La mobilità sostenibile è un argomento che ha assunto sempre maggior importanza nel corso degli anni, tanto da influenzare le politiche di ogni singolo Paese, ma anche delle unioni di essi come l'Unione Europea. Insieme alla Cina e all'Europa, gli Stati Uniti rappresentano uno dei più grandi mercati per i veicoli elettrici, con una crescita significativa delle vendite anno su anno, tuttavia, nella maggior parte dei paesi i veicoli elettrici rimangono una quota marginale del mercato automobilistico totale, a causa di una serie di ostacoli, tra cui costi di investimento elevati, ansia da autonomia e un sistema di infrastrutture per la ricarica limitato.

Soprattutto nell'ultimo decennio il numero di produttori di mezzi a trazione elettrica (*full Electric*) o ibrida (*PHEV*, *MHEV* e *Full Hybrid*) è cresciuto a dismisura, le cause sono da ricercare nelle politiche accennate in precedenza, negli incentivi messi a disposizione dai vari Stati, nella sempre maggiore attenzione delle masse al fenomeno dell'inquinamento e nelle limitazioni alla circolazione che questo fenomeno ha portato (specialmente nelle grandi città).

Sussequentemente all'aumento del numero dei veicoli a trazione elettrica, è necessario predisporre varie stazioni di ricarica per questo tipo di veicoli (*grid*) dislocate all'interno delle città, ma anche lungo le principali arterie delle viabilità urbana ed extra-urbana.

Per quanto possano essere innumerevoli le variabili che portano alla scelta del posizionamento di una di queste stazioni, la volontà di fondo dei fornitori di questo tipo di servizio è, da sempre, quello fornire varie possibilità di percorsi ai mezzi che utilizzano questo tipo di trazione in modo da ridurre la fila (e la conseguente attesa che vada oltre al normale tempo di ricarica) nelle varie stazioni ed assicurarsi un maggior numero di clienti (che si dividono tra chi sceglie un abbonamento *flat* e chi paga per *kWh* erogato). Ovviamente le distanze di percorrenza di ogni mezzo sono diverse da veicolo a veicolo, da modello a modello e, in particolare, i veicoli *full electric* hanno una certa sensibilità a condizioni di temperatura, pendenza stradale e velocità di marcia, ciò rende difficile calcolare l'ubicazione migliore per una stazione.

Capitolo 1 – Mobilità Sostenibile

Questo capitolo introduce i principali concetti legati al tema della mobilità sostenibile, presentando dapprima una definizione, proseguendo con alcuni esempi di business model e le problematiche più comuni che fornitori e fruitori di questo tipo di servizio (grid di ricarica e veicoli in sé) devono affrontare.

1.1 Definizione di mobilità sostenibile

La mobilità sostenibile, nella definizione riportata nella strategia europea in materia di sviluppo sostenibile approvata nel 2006 dal Consiglio Europeo, ha l'obiettivo di garantire che i sistemi di trasporto corrispondano ai bisogni economici, sociali e ambientali della società, minimizzandone contemporaneamente le ripercussioni negative sull'economia, la società e l'ambiente.

Il tema della mobilità sostenibile rappresenta uno degli argomenti più dibattuti nell'ambito delle politiche ambientali locali, nazionali e internazionali volte a ridurre l'impatto ambientale derivante dalla mobilità delle persone e delle merci. In Italia una forte criticità deriva dal trasporto stradale che contribuisce alle emissioni totali di gas serra nella misura del 23% (di cui il 60% circa attribuibile alle autovetture), alle emissioni di ossidi di azoto per circa il 50% e alle emissioni di particolato per circa il 13% (Fonte: ISPRA, 2017)¹.



Figura 1 - https://www.corriere.it/motori/news/22_novembre_02/auto-elettriche-diesel-o-benzina-prezzi-stessi-modelli-confronto-anche-10-mila-euro-differenza-56afd67e-592f-11ed-a5c7-8813766af362.shtml

¹ <https://www.mase.gov.it/pagina/mobilita-sostenibile>

1.2 Valore aggiunto

Sono tre le innovative fonti di valore dei veicoli elettrici identificate da Delucchi et al. (2014)²: il sistema di trazione elettrico, il sistema di ricarica e le nuove espressioni identitarie.

La trazione elettrica presenta una maggiore accelerazione e, durante il processo di frenata, può rigenerare elettricità, consentendo percorrenze maggiori rispetto a quelle preventivate: a seconda dello stile di guida, del traffico e del percorso che si va ad affrontare.

Il sistema di ricarica porta a *“un senso di indipendenza dal petrolio, la soddisfazione di utilizzare una fonte di energia relativamente pulita (non verrà trattato il tema della delocalizzazione dell'inquinamento), evitare l'esposizione ai vapori della benzina, ed un grid di ricarica in evoluzione costante”* (Delucchi et al., 2014, p. 18).

Appaiono anche nuove espressioni identitarie, ad esempio vanno a configurarsi nuovi pattern di attività per gli utenti, nuovi valori individuali e sociali, identificando il possesso (o la guida) di un veicolo elettrico quasi come un nuovo *status symbol*.

I veicoli elettrici cambiano domanda e offerta e creano nuove fonti e offerte di valore, comprendendo come la mobilità elettrica possa sfidare i modelli di business tradizionali, le aziende potranno pianificare meglio la transizione verso i veicoli elettrici e ridurre il rischio di fallimento del loro modello di business.

1.3 Business Model

Qual è la convenienza nel fornire un servizio del genere? Quali sono i modelli di business?

Andando per ordine, cos'è un business model?

Esistono varie definizioni, alcune più olistiche, come Sanchez-Miralles et al. (2014, p. 46)³, lo definiscono come *“un insieme di agenti e business che fanno coinvolti in una relazione”*, mentre altri adottano una prospettiva con approccio multiplo considerando i modelli di business una sorta di *“modello superiore che riassume diversi aspetti dell'impresa”*. Ad esempio, Bohnsack et al. (2014)⁴ distinguono tre elementi dei modelli di business: la value proposition, il valore della rete ed il modello ricavi/costi, questi elementi possono essere considerati modelli separati, che insieme formano il concetto di modello di business.

Uno dei concetti chiave deriva dal fatto che la mobilità elettrica inneschi cambiamenti di vasta portata nell'industria automobilistica in modo che le aziende debbano virare su nuove fonti di

² <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0325>

³ <https://doi.org/10.1109/MITS.2014.2329327>

⁴ <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.014>

valore (e ricavo), è difficile pensare ad un modello di business appropriato per i veicoli elettrici, poiché bisogna considerare i limiti delle tariffe per l'uso delle infrastrutture e che modelli di business appropriati dovrebbero essere redditizi senza ricorrere a sovvenzioni governative che, al giorno d'oggi, forniscono una delle spinte principali a fornire tali servizi. Va, tuttavia, ricordato che i modelli di business per i veicoli elettrici non possono prescindere da un'infrastruttura di ricarica adeguata, essi devono andare di pari passo.

La creazione di modelli di business competitivi per i veicoli elettrici è limitata dal raggiungimento di una massa critica di veicoli affinché l'installazione di un'ampia infrastruttura di ricarica sia redditizia, e l'esistenza di tale infrastruttura è necessaria per aumentare la domanda di veicoli elettrici.

Con le parole di Yang et al. (2016, p. 738): "L'infrastruttura di ricarica imperfetta limita lo sviluppo dei veicoli elettrici, il che a sua volta influenza la costruzione della prima"⁵.

Un aumento del numero di veicoli elettrici dovrebbe essere accompagnato da una crescita dell'infrastruttura di ricarica per incoraggiare l'uso dei veicoli elettrici. Pertanto, sono necessari modelli di business per la commercializzazione dei veicoli elettrici e per il funzionamento efficace dell'infrastruttura di ricarica.

I modelli di business dell'infrastruttura dovrebbero prevedere un numero crescente di veicoli elettrici nel tempo.

I modelli di business tipici della mobilità possono essere classificati in due macro-categorie: i classici modelli orientati al prodotto ed i modelli maggiormente innovativi orientati invece al servizio. In questa seconda categoria sono compresi i modelli orientati all'uso, come ad esempio il Car Sharing, la gestione delle flotte, ecc. e quelli invece orientati al risultato tra i quali ricadono i servizi di trasporto pubblico locale.

Un approccio interessante alla classificazione dei possibili modelli di business efficaci per lo sviluppo dell'auto elettrica prende in considerazione tre categorie di driver: il veicolo completo di batteria, l'infrastruttura e l'integrazione tra il sistema energetico ed i veicoli. Per quanto riguarda il veicolo e la batteria, ad esempio, il punto di partenza per la definizione di un modello è rappresentato dalla proprietà dei due elementi: le possibilità sono molteplici e vanno da:

- classica proprietà, a contratti per l'utilizzo per entrambi o solamente per la batteria, stipulabili con differenti soggetti, quali il produttore dei veicoli, il produttore di batteria, un fornitore indipendente oppure l'utility energetica;

⁵ <https://doi.org/10.3390/su8080738>

- Allo stesso modo possono essere declinate le attività after sale, come ad esempio manutenzione e riparazione;
- Un ulteriore elemento è rappresentato dalle modalità di pagamento che possono essere per acquisto, con canone o per utilizzo;
- infine, si consideri l'esclusività di utilizzo sia per i veicoli che per quanto riguarda le batterie;

In questo panorama a seconda del modello di business sviluppato potranno variare sia la composizione dei soggetti coinvolti nella filiera produttiva e soprattutto il rispettivo ruolo e contributo allo sviluppo del sistema.

Lo sviluppo di nuovi appropriati modelli di business per la mobilità elettrica costituisce un elemento facilitatore del processo di diffusione dei veicoli elettrici, attraverso la capacità di accompagnare la delicata traduzione dei vantaggi tecnologici in valore aggiunto per il cliente finale.

I paradigmi che caratterizzano i principali modelli innovativi per i servizi di mobilità applicabili all'auto elettrica sono così sintetizzabili:

1. L'uso efficiente della capacità dei veicoli.

Modelli innovativi di mobilità, quali car sharing o gestione razionale delle flotte aziendali, sono orientati all'ottimizzazione dell'utilizzo dei veicoli e, nel caso dell'auto elettrica, potrebbero risultare particolarmente efficaci: in grado di abbinare i minori costi operativi relativi all'utilizzo dei veicoli ed una maggiore condivisione invece dei costi fissi che sono più rilevanti;

2. L'adozione di un modello di utilizzo esteso.

Con l'obiettivo di migliorare l'efficienza economica del sistema i veicoli elettrici possono: da un lato essere caricati nei minori nei momenti di minore domanda energetica da parte del sistema come, per esempio, le ore notturne e restituire energia nelle ore di punta secondo un modello V2G (ovvero *vehicle to grid*);

3. Il possibile utilizzo secondario delle batterie.

Queste potrebbero, una volta dismesse dai veicoli, contribuire all'accumulo di energia stazionario da distribuire al sistema aumentando così il loro valore residuo e portando una soluzione al problema della second life delle batterie;

In generale, per raggiungere economia di scala, le flotte veicolari possono servire da catalizzatori, non solo perché i prezzi elevati dei veicoli si ammortizzano in modo più

efficiente nei modelli di condivisione, ma allo stesso tempo perché gli utenti parziali di veicoli elettrici fanno conoscenza della tecnologia diffondono un messaggio e possono sviluppare il desiderio di cambiare la propria auto convenzionale per una elettrica. Tra le misure e i servizi di mobilità sostenibile, gli schemi e le strategie di condivisione di veicoli rappresentano uno strumento efficace per ridurre il numero di automobili attraverso un uso migliore e più responsabile della mobilità personale, mantenendo elevati livelli di connettività e capacità di risposta alle esigenze degli utenti⁶.

1.4 Servizi di noleggio

Modello di business diventato sempre più popolare nel corso degli anni (leasing, noleggio a lungo termine): nel mondo delle auto convenzionali è, ormai, ben consolidato con attori di vario tipo (società di leasing o direttamente i produttori) che agiscono in questo mercato.

Tuttavia, va fatta una doverosa distinzione:

- **Leasing:** si intende una modalità di acquisto in cui una società di finanziamento concede l'utilizzo di un bene (in questo caso il veicolo) dietro pagamento di una rata mensile costante (che comprende vari costi di manutenzione e assicurazione) per un periodo prestabilito, al cui termine l'utente dovrà riscattare il bene in oggetto mediante una, cosiddetta, "maxi rata finale".
- **Noleggio a lungo termine:** si intende un contratto di abbonamento che consente di utilizzare il veicolo senza divenirne effettivamente proprietari. Anche questa modalità prevede il pagamento di una rata mensile comprensiva di tutti i costi connessi all'uso della macchina, ma, allo scadere del contratto, si potrà effettuare la scelta: se restituire il mezzo o optare per una nuova vettura sottoscrivendo un nuovo contratto.

La tipologia di guida diversa dettata da una più breve autonomia e cicli di ricarica più lunghi, rispetto alle auto convenzionali, rendono complessa e impegnativa la gestione delle flotte di auto elettriche. Di conseguenza, è necessario sviluppare approcci gestionali e soluzioni per garantire che i modelli di business del noleggio auto possano funzionare senza problemi anche con le auto elettriche.

⁶ Prof: Gabriele Grea – Univ. Bocconi - L'auto elettrica e i nuovi modelli di business della mobilità - <https://rb.gy/dcp2dn>

1.5 Car Sharing

Solitamente, quando si parla di mobilità sostenibile, si è portati a pensare che questo termine riguardi solamente veicoli elettrici o ibridi, ma in un'ottica più ampia si può vedere anche un fenomeno come il *car sharing*: sempre più diffuso nelle grandi città dove il possesso di un'automobile di proprietà è diventato quasi un "lusso", contribuisce comunque ad un significativo minor impatto sull'ambiente dovuto in primis ad una minor produzione di veicoli, ad un loro utilizzo solo "a necessità" e una disponibilità di veicoli a trazione elettrica ed ibrida crescente anche in questo settore.

Si distinguono varie modalità di fruizione di tale servizio:

- Il pagamento di un corrispettivo legato all'effettivo minutaggio dell'utilizzo del veicolo;
- Una quota fissa per l'utilizzo a cui va aggiunta anche la quota legata al tempo (elencata al punto precedente), solitamente questa modalità si applica a veicoli di categoria e prestazioni superiori;
- La possibilità di un affitto giornaliero del veicolo con una tariffa forfettaria.

La disponibilità di un veicolo pronto all'uso e di cui non bisogna più curarsi una volta parcheggiato e terminato il noleggio potrebbe diventare la tendenza futura in questo settore.

A tal proposito va indicato un modello di business come quello messo in atto dalla casa produttrice *Lynk & Co*, appartenente al gruppo di origini cinesi *Geely Automobile*, che consente l'acquisto semplice del veicolo e l'acquisto con una modalità di noleggio a lungo termine.

A queste due modalità va ad aggiungersi l'opportunità, per il proprietario del veicolo di metterlo in condivisione con altri utenti che, naturalmente, pagheranno per questo tipo di utilizzo ed aiuteranno il proprietario ad abbassare il costo del veicolo stesso⁷.

1.6 Modelli non convenzionali

Quelli elencati erano solo alcuni dei modelli di business che si possono trovare in questo settore, il mondo dell'automobile al giorno d'oggi attinge a caratteristiche e modalità provenienti da settori completamente diversi, come ad esempio quello della tecnologia, con cui sta acquisendo sempre maggiori punti di contatto. Basti pensare agli abbonamenti che vengono proposti dalle case costruttrici per avere connessioni dati e dei servizi aggiuntivi

⁷ Business models for electric vehicles: Literature review and key insights, David Ziegler, Nizar Abdelkafi

come l'aggiornamento *OTA* (over the air) di mappe o la possibilità di acquisto di nuove feature per il veicolo od i sistemi di infotainment, caratteristica tipica del settore mobile, rendendo l'automobile non solo un mezzo per lo spostamento ma anche un device all'interno della piattaforma predisposta dal costruttore.

In questo settore i veicoli elettrici la fanno da padrone, poiché necessitano di una connessione stabile in modo da poter aiutare il proprietario/conducente a trovare la stazione di ricarica più prossima o pianificare il viaggio in maniera ottimale senza incorrere nell'ansia da autonomia.

1.7 Modelli di business per le stazioni di ricarica

Essi possono essere divisi in vari tipi, a seconda di come viene svolta l'attività:

- **Vendita di energia elettrica:** questo modello di business è il più comune per le stazioni di ricarica per auto elettriche. Le stazioni di ricarica possono acquistare l'energia elettrica da un fornitore di energia elettrica e quindi rivenderla ai clienti che ricaricano i loro veicoli. Il prezzo dell'energia elettrica può variare a seconda dei prezzi di mercato, delle tariffe di distribuzione e di altri fattori, secondo alcuni studi, le stazioni di ricarica possono guadagnare da 0,20 a 0,50 euro al kWh. Inoltre, possono scegliere di addebitare un prezzo fisso per la ricarica o un prezzo basato sull'energia effettivamente utilizzata.
- **Abbonamento:** questo modello di business è particolarmente adatto per le stazioni di ricarica che si trovano in aree geografiche limitate, come i parcheggi sotterranei degli edifici. I clienti che possiedono un abbonamento possono accedere alle stazioni di ricarica del fornitore senza dover pagare una tariffa per la ricarica. Il fornitore guadagna denaro attraverso i canoni mensili o annuali pagati dai clienti abbonati, i prezzi di tali abbonamenti variano dai (circa) 30 ai 100€ al mese a veicolo, con la differenza in base al numero di kWh compresi nel prezzo, sfornato questo tetto si dovrà pagare una tariffa aggiuntiva.
- **Pubblicità e sponsorizzazione:** questo modello di business è particolarmente adatto per le stazioni di ricarica che si trovano in luoghi ad alto traffico pedonale, come le stazioni di servizio lungo le autostrade. Le stazioni di ricarica possono offrire spazi pubblicitari sui loro punti di ricarica, dove le aziende possono promuovere i loro prodotti e servizi. Inoltre, le stazioni di ricarica possono trovare sponsorizzazioni da aziende interessate a sostenere la transizione verso un'energia più pulita.

- **Affitto di spazi:** questo modello di business è particolarmente adatto per le stazioni di ricarica che si trovano in aree a traffico intenso, come i centri commerciali. Le stazioni di ricarica possono affittare spazi ai proprietari di veicoli elettrici, che possono quindi utilizzare tali spazi per ricaricare i loro veicoli. Il fornitore guadagna denaro attraverso il pagamento degli affitti da parte dei proprietari dei veicoli elettrici, anche in questo caso il guadagno stimato varia tra i 50 ed i 100 euro al mese a veicolo.
- **Ricarica veloce:** alcune stazioni di ricarica possono offrire servizi di ricarica veloce per i proprietari di veicoli elettrici che hanno bisogno di una ricarica rapida. In questo modello di business, i proprietari delle stazioni di ricarica possono addebitare un sovrapprezzo per l'utilizzo della ricarica veloce. Il prezzo per la ricarica veloce può essere più elevato rispetto alla ricarica standard, ma può essere una fonte di reddito significativa per le stazioni di ricarica, specialmente in situazioni di emergenza in cui i clienti hanno bisogno di ricaricare rapidamente il loro veicolo. Ad esempio, una stazione di ricarica potrebbe addebitare un sovrapprezzo di 5-10 euro per l'utilizzo della ricarica veloce, che potrebbe generare un guadagno significativo se molti clienti scelgono di utilizzare questo servizio.

1.8 Criticità della mobilità elettrica

L'ancora limitata preferenza per l'auto elettrica in Italia è legata a diverse ragioni. Nel 2022 gli *incentivi statali* stanziati per l'acquisto di auto BEV sono stati poco incisivi: sono stati limitati alla sola clientela privata e di importo tale da compensare solo in parte il maggior costo delle vetture elettriche rispetto alle tradizionali motorizzazioni, basti pensare che su un veicolo appartenente al segmento B la differenza di prezzo può arrivare anche a 10.000€ tra un modello tradizionale ed uno elettrico⁸. A penalizzare l'andamento del mercato è stato anche il contesto economico difficile, caratterizzato da un'inflazione elevata e da redditi in contrazione⁹.

Il termine *range anxiety* indica la paura di non riuscire a trovare un posto dove ricaricare la propria auto elettrica prima che la batteria si esaurisca, la preoccupazione per il

⁸ https://www.corriere.it/motori/news/22_novembre_02/auto-elettriche-diesel-o-benzina-prezzi-stessi-modelli-confronto-anche-10-mila-euro-differenza-56afd67e-592f-11ed-a5c7-8813766af362.shtml

⁹ <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2023/02/16/in-italia-la-penetrazione-delle-auto-elettriche-bev-sul-totale-delle-nuove-immatricolazioni-si-ferma-al-37/>

chilometraggio che un'auto elettrica può coprire con una singola carica, unita alla preoccupazione per la mancanza di infrastrutture pubbliche di ricarica¹⁰.

Un altro punto da elencare è la bassa *produzione di energia elettrica derivata da fonti rinnovabili*, in Italia la quota complessiva di consumo di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia torna a crescere nell'ultimo anno fino al 18,2%, segnando un miglioramento di 5,4 punti percentuali negli ultimi dieci anni¹¹. Un dato incoraggiante, ma ancora non sufficiente per compiere la transizione verso una mobilità più green, da qui nasce il dibattito sulla delocalizzazione dell'inquinamento e del problema dello smaltimento delle batterie alla fine del loro ciclo di vita.

Il risultato dei motivi elencati in precedenza è una certa riluttanza della massa dei consumatori all'acquisto di veicoli completamente elettrici a cui, ancora, preferiscono quelli con solo motore endotermico o ibridi.

¹⁰ <https://corporate.enelx.com/it/question-and-answers/what-is-range-anxiety#:~:text=La%20preoccupazione%20per%20il%20chilometraggio,%E2%80%9Cansia%20da%20autonomia%E2%80%9D>

¹¹ <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2021/goal7.pdf>

Capitolo 2 – Analisi

In questo capitolo viene esposto il caso di studio sul posizionamento delle stazioni di ricarica per veicoli elettrici nello Stato di New York: viene effettuata un’analisi volta alla ricerca di un pattern di posizionamento e il calcolo di varie metriche utili per mettere in discussione alcuni dei problemi elencati nel capitolo precedente.

I dati sono stati ricavati da un dataset nominato “*Electric Vehicle Charging Stations in New York*”¹², successivamente verrà spiegata l’analisi, come sono stati utilizzati i dati e quali sono le conclusioni ricavate.



Figura 2 - https://it.wikipedia.org/wiki/Contee_dello_stato_di_New_York

2.1 Introduzione

Il caso di studio scelto riguarda il posizionamento dei nodi del grid di ricarica per veicoli elettrici dello Stato di New York, con dati raccolti tra il 2013 ed il 2023. Lo stato di New York è il 27° stato in ordine di grandezza di tutti gli Stati Uniti d’America e possiede una popolazione di circa 18 milioni di abitanti, la sua capitale è Albany che, con una popolazione di circa 100.000 abitanti, non è la città maggiormente nota, sicuramente lo è, invece, (l’omonima) New York City.

¹² <https://data.ny.gov/Energy-Environment/Electric-Vehicle-Charging-Stations-in-New-York/7rrd-248n>

Tutta l'analisi è stata utilizzata mediante il linguaggio di programmazione Python, sfruttando diverse librerie a cui si farà accenno volta per volta, in particolare il campo di applicazione scelto è stato la *Teoria dei Grafi*, motivo per cui si è reso necessario l'utilizzo di NetworkX per poter ricavare i grafi dal dataset. Per rendere il più comprensibile possibile l'analisi è stato suddiviso il paese in due zone:

1. Lo Stato di New York nella sua interezza;
2. La città di New York.

Per ottenere un'analisi (e dei grafi) maggiormente leggibili si è scelto di procedere prendendo in esame solamente i nodi dei network di ricarica maggiormente presenti che rispondono a: Tesla, Livingston ed EV Connect.

2.2 Pulizia e preparazione dei dati

Il primo passo per l'analisi è stato quello di ripulire il dataset da valori nulli e mantenere solamente le feature che fossero di effettivo interesse. I dati ottenuti presentavano dal principio una colonna dedicata alla Longitudine ed una alla Latitudine, la principale modifica che è stata effettuata riguarda la data di installazione, nell'immagine risulta presente la colonna *Year*, ottenuta attraverso uno slicing della colonna *Open Date*, le cifre relative agli anni.

| | Station Name | Street Address | City | State | EV Level1 EVSE Num | EV Level2 EVSE Num | EV DC Fast Count | EV_Network | Latitude | Longitude | ID | EV Connector Types | Year |
|---|-----------------------|---------------------------|------------------|-------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-----------|------------|--------|--------------------------|------|
| 0 | St. George Courthouse | 54 Central Ave | Staten Island | NY | NaN | 5.0 | NaN | EV Connect | 40.639469 | -74.076912 | 65296 | J1772 | 2016 |
| 1 | RRH RIEDMAN CAMP10 | 100 Kings Hwy S | Rochester | NY | NaN | 2.0 | NaN | ChargePoint Network | 43.201826 | -77.574561 | 121386 | J1772 | 2019 |
| 2 | Avon | 74 Genesee Street | Avon | NY | NaN | 2.0 | NaN | EV Connect | 42.910944 | -77.746320 | 123132 | J1772 | 2019 |
| 3 | SKIDMORE SUSSMAN | Lower Scribner Village Rd | Saratoga Springs | NY | NaN | 2.0 | NaN | ChargePoint Network | 43.098653 | -73.789220 | 123552 | J1772 | 2019 |
| 4 | WARRENCOUNTY DPW 2 | 1344 U.S. 9 | Lake George | NY | NaN | 2.0 | NaN | ChargePoint Network | 43.359015 | -73.701099 | 150258 | J1772 | 2019 |

Viene creato un subset di dati contenente solamente le osservazioni relative ai tre network indicati in precedenza, a questo punto le due analisi iniziano a differenziarsi: per quella relativa alla sola città di New York viene creato un subset dei dati contenente solamente i quartieri e le città relative all'area urbana e viene implementata una lista di esclusione per eliminare alcuni *outlier* (venivano nominalmente inseriti nell'area ma le coordinate portavano ad una posizione fuori dai confini cittadini).

```

1. urban_area = ['New York', "Bronx", "Brooklyn", "Queens", "Staten Island",
2.               "Manhattan", "Borough Park", "Washington Heights", "New York City",
3.               "Astoria", "Jamaica", "JAMAICA", "Jackson Heights",]
4.
5. exclusion = ["Geneva on the Lake Resort", "ABELENORTHSIDE STATION 1", "Buy Low Flooring /
6.              Queen of Harts Pizza"]
7.
8. network = ["Tesla", "Tesla Destination", "ChargePoint Network", "Blink Network"]
9.
10. NYC_df = df.query("City in @urban_area")
11.
12. NYC_df = NYC_df.query("City not in @exclusion")
13.
14. NYC_df = NYC_df.query("EV_Network in @network")

```

2.3 Visualizzazione dei dati

Uno scatter plot, con valore di scala pari a 10 (relativamente alla città) e 1000 (per lo Stato), permette di capire meglio come ed in che misura sono distribuiti i nodi dei vari network.

Salta all'occhio quanto il secondo grafico sia confusionario e praticamente illeggibile a causa della sovrapposizione delle etichette delle città, mentre, il primo, fornisce una chiara idea di come le stazioni più diffuse facciano parte della rete *Tesla*, in particolare quelli definiti *Tesla Destination Charging*, ovvero, stazioni con una potenza di circa 22kWh, posizionate presso vari tipi di attività come possono essere hotel, ristoranti, centri commerciali, ecc.

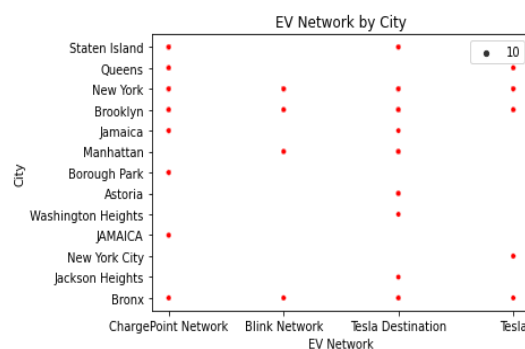


Figura 3 - Scatter plot della distribuzione dei network nei Quartieri

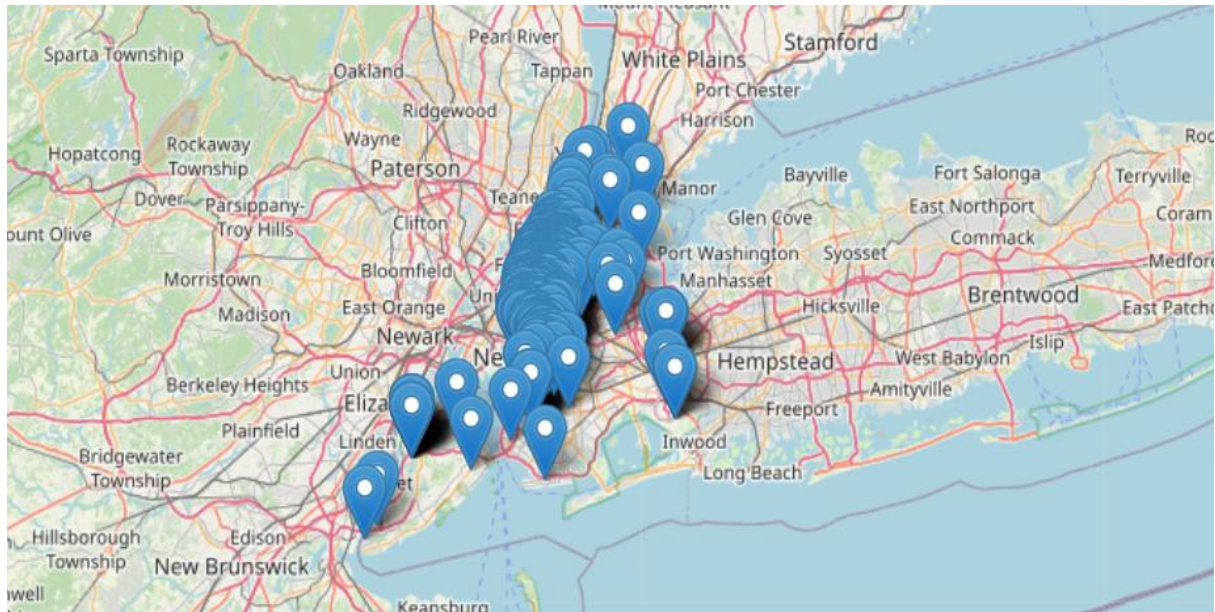


Figura 5 - Mappa del grid di ricarica di New York City

Nell'immagine in alto vengono mostrati i nodi relativi alla sola città, poiché riportare la mappa per l'intero Stato è computazionalmente complesso, si avrebbe una sovrapposizione di dati, in maniera simile a quanto accade nello scatter plot, e richiederebbe un livello di zoom molto basso per vedere tutti i punti insieme.

2.3 Calcolo distance e duration

Vengono definite due funzioni separate per calcolare la distanza tra una stazione e l'altra, e la duration, ovvero il tempo che intercorre nello spostarsi tra una e la successiva con un veicolo. Queste due metriche sono state calcolate facendo diverse requests ad *OpenStreetMaps*, tool di geolocalizzazione molto utile, analogo al funzionamento del più noto Google Maps, ma che non pone limiti per il numero di richieste che vengono effettuate. Le requests, altro non sono che delle richieste che vengono inviate al Server Web in modo da poter ottenere o manipolare delle informazioni, nel nostro caso consiste in una richiesta di informazioni.

```

1. def getDistances(row):
2.     o1 = str(row['Longitude']) + ',' + str(row['Latitude'])
3.     o2 = str(row['Next Longitude']) + ',' + str(row['Next Latitude'])
4.     x = o1 + ';' + o2
5.
6.     response = requests.get(url+x)
7.     data = json.loads(response.content)

```

```

8.
9.     if response.status_code == 200:
10.         return data['routes'][0]['distance']/1000 #in km
11.     else:
12.         return 0

```

Come si può capire dal nome, mediante la funzione *getDistances* otteniamo la distanza, espressa in km, tra una stazione e la successiva, questa metrica verrà storta in una colonna creata appositamente nel *data frame*.

```

1. def getDuration(row):
2.     o1 = str(row['Longitude']) + ',' + str(row['Latitude'])
3.     o2 = str(row['Next Longitude']) + ',' + str(row['Next Latitude'])
4.     x = o1 + ';' + o2
5.
6.     response = requests.get(url+x)
7.     data = json.loads(response.content)
8.
9.     if response.status_code == 200:
10.         return data['routes'][0]['duration']/60 #in min
11.     else:
12.         return 0

```

Analogamente al discorso per la distanza, utilizzando *getDuration* otteniamo la duration, essa permette di avere una misura del tempo necessario a percorrere il tragitto tra la stazione A e la stazione B.

```

1. df["Distance"] = df.apply(getDistances, axis = 1)
2. df["Duration"] = df.apply(getDuration, axis = 1)

```

Con una funzione *apply*, entrambe le funzioni vengono calcolate per tutte le osservazioni presenti nel data frame.

Capitolo 3 –Risultati

Punto focale dell'analisi svolta è quello di tracciare i grafi in modo da collegare i nodi, calcolare i tempi di percorrenza, le varie distanze e verificare se si può presentare una soluzione alcune delle criticità che questo settore al giorno d'oggi presenta o, forse, metterle in discussione.

3.1 Realizzazione dei grafi e analisi

La funzione seguente permette il plot del grafo e l'aggiunta degli edge tra i nodi più prossimi, la vicinanza viene usata come legame tra un nodo ed il successivo per simulare, il più possibile, la situazione in cui un utente trovi una stazione occupata e debba recarsi alla successiva per non terminare l'energia elettrica residua all'interno delle batterie.

```
1. def create_and_draw_graph(df, color, title):
2.     G = nx.Graph()
3.     for index, row in df.iterrows():
4.         G.add_node(row["ID"], pos=(row["Longitude"], row["Latitude"]))
5.         if index > 0:
6.             G.add_edge(df.iloc[index-1]["ID"], row["ID"])
7.     nx.draw(G, nx.get_node_attributes(G, 'pos'), with_labels=False, node_size=10,
8.             node_color=color)
9.     plt.title(title)
10. data = [(df, "red", "Plotting Nodes of All State"),]
11.
12. for df, color, title in data:
13.     create_and_draw_graph(df, color, title)
14. plt.show()
```

I grafi risultanti, come preannunciato, si presentano in modo molto confuso e poco esplicativo. Tuttavia, è possibile ricavare comunque qualche informazione:

- la densità maggiore si riscontra, come ovvio che fosse, all'interno delle città, nella zona sud-est si trova New York City, in quella ovest abbiamo Buffalo e Rochester, mentre, nella zona est troviamo Albany;

- si può individuare un'area, situata nella zona centrale e a sud del grafico, in cui si nota una quasi totale assenza di stazioni di ricarica;
- i collegamenti tra le varie città sono ben serviti, quindi ha una certa importanza per le aziende posizionare le stazioni lungo le arterie principali della mobilità in modo da avere un bacino di utenza il più grande possibile.

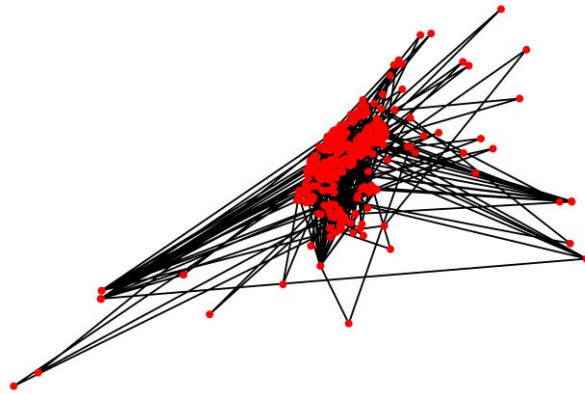


Figura 6 - Grafo totale di New York

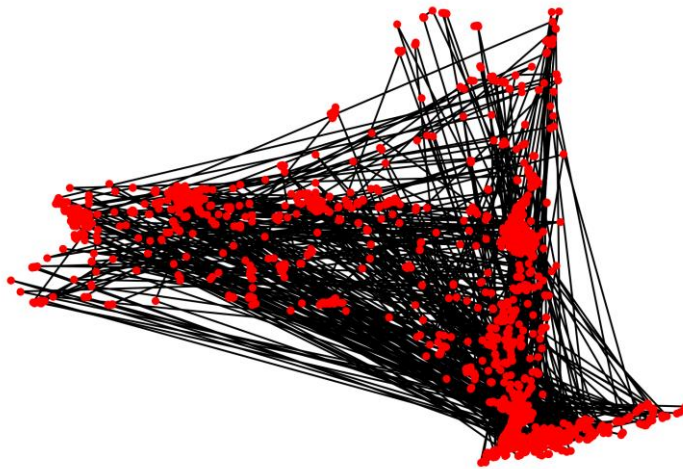


Figura 7 - Grafo totale dello Stato

3.2 Analisi dei dati ottenuti

Per avere un'idea di precisa di come sono strutturati i dati in nostro possesso, si è proceduto con una breve analisi che ha messo in luce le principali metriche per quello che riguarda la media, il minimo, il massimo ed i percentili della duration e della distanza calcolate.

Distance

L'analisi riguardante la distanza minima registrata all'interno della città di New York pone in evidenza una media di 11.12 km tra una stazione e l'altra, sembra una distanza enorme, ma, con una distanza minima di circa 620m, possiamo dire che potrebbe essere falsata da qualcuna posta in angoli più lontani dal centro cittadino dove, sicuramente, la densità è più elevata. Va anche ricordato che la città possiede un'area urbana di circa 783,8 km², ciò la rende la prima città per estensione al mondo. La distanza massima di 67km mette in evidenza la probabile presenza di un punto remoto che, come anticipato, fa salire la media; il 25° ed il 75° percentile registrano distanze, rispettivamente, di 4.41 e 14.23 km, dipingendo un quadro di una città altamente coperta da questo servizio.

Spostando l'attenzione sui dati che si registrano per l'analisi totale dello Stato, la media si attesta a 53.5km, un minimo di 0km ed un massimo di 757.4, va, altresì, evidenziato che si tratta di uno Stato con un'area di 141.300 km². I percentili indicano, come detto in precedenza, una tendenza ad avere una discreta copertura su buona parte dello Stato, il 25° fa registrare 200m ed il 75° 5,95km.

Duration

Spostiamo ora l'attenzione sul tempo che un utente, in caso di necessità, impiegherebbe per andare da una stazione alla successiva. Si registra un tempo minimo di 1,26 minuti ed uno massimo di 56,7, in questo caso vale la stessa considerazione fatta per la distanza. La media è di 15,54 minuti, mentre, il 25° ed il 75° percentile sono di 8,14 e 20,76 minuti, ciò non fa che confermare il fatto che la città è molto ben coperta, almeno a livello di numeri, dal grid di ricarica.

Andando a vedere su quanto si riscontra a livello dell'intero Stato, la media sarà di poco inferiore ai 44 minuti, con un minimo di 0 ed un massimo di 595 (ovvero circa 10 ore). Anche in questo caso, i percentili, indicano una copertura a livello aggregato abbastanza elevata: il 25° indica 0,69 minuti ed il 75° 8,96.

3.3 Le misure di centralità

Le misure di centralità hanno lo scopo di determinare l'importanza di un nodo. E' chiaro che, per capire quanto un nodo sia importante bisogna farlo dipendere dal contesto (avere molte connessioni, conoscere persone importanti, essere molto vicino a tutti gli altri nodi, avere un ruolo centrale nello scambio di informazioni, ecc.)

In questa tesi vengono utilizzate due misure di centralità diverse: la betweenness e la closeness centrality:

- La betweenness coglie la centralità di un nodo nello scambio di comunicazioni, più un nodo è centrale nella betweenness vuol dire che molto spesso si passerà per questo nodo nei sentieri minimali, tiene conto del flusso informativo tra tutte le possibili coppie.

$$g(v) = \sum_{g \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

Andiamo ad analizzare i risultati ottenuti dal calcolo di queste metriche, avremo diverse misure poiché il dataset è stato diviso in base ai vari network di ricarica ed area geografica:

A livello Statale, la betweenness di ogni singolo network può essere riassunta così:

- Media per Tesla: [0.0]
- Media per Livingston: [0.0]
- Media per Charge Point Network: [0.0]

Questa metrica non fornisce tante informazioni riguardo l'importanza dei nodi per lo scambio di informazioni, probabilmente dovuto alla numerosità ed al fatto che, solitamente, quando vediamo posizionato un nodo nel grid di ricarica, esso, solitamente, è circondato da altri nodi appartenenti a network diversi, e questo ne abbassa l'importanza.

A livello della singola città di New York, il risultato è analogo, e potrebbero valere le stesse considerazioni fatte in precedenza

- La closeness, invece, indica quanto il nodo sia vicino a tutti gli altri, essa si ricava calcolando la media della lunghezza del percorso minimale per ogni possibile coppia di nodi del network:

$$CC(i) = \frac{N-1}{\sum_j d(i,j)}$$

dove $d(i,j)$ è la distanza minimale tra i ed il nodo j , N indica il numero dei nodi dell'intero grafo.

Riassumiamo brevemente i risultati ottenuti:

- Media per Tesla: [0.028440275241521117]
- Media per Livingston: [0.09158438784549255]
- Media per Charge Point Network: [0.08778645153542435]

Questi risultati indicando che i punti appartenenti al Network di Livingston hanno un ruolo maggiore, rispetto agli altri analizzati, per quello che riguarda la trasmissione delle informazioni, questo potrebbe essere dovuto al fatto che si trovino in un intorno di nodi poiché posizionati in aree molto strategiche, come porti o aeroporti, o ad alto traffico, come le autostrade.

Guardano i risultati a livello cittadino:

- Media per Tesla: [0.011120056981447286]
- Media per Charge Point: [0.11947931074328266]
- Media per Blink: [0.12486379619079428]

Possiamo trarre due informazioni: i network maggiormente rappresentati nella città sono diversi da quelli più numero nello stato, e che la sostituzione tra Blink e Livingston, sostituisce anche chi registra il valore più elevato.

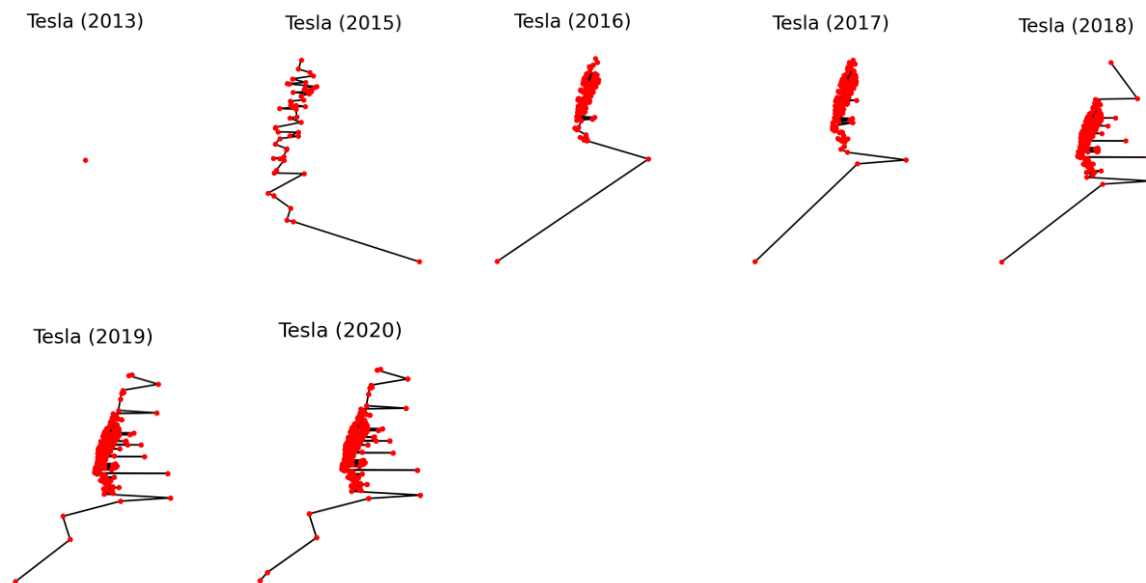
3.4 La ricerca di un pattern a New York

L'analisi portata avanti finora mira, tra le altre cose, alla ricerca di un pattern di posizionamento dei nodi del grid di ricarica, per fare questo si è proceduto a tracciare un grafo relativo ad ogni anno per ogni network preso in esame, differenti tra città di New York e Stato.

Tesla

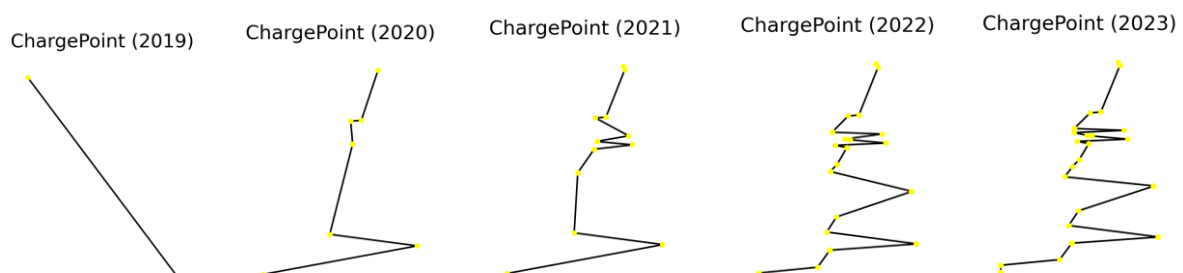
Partiamo dall'analisi del più presente tra i network analizzati, conta 329 solo all'interno dell'area urbana. I nodi Tesla appartengono a due categorie distinte: quelli ufficiali Tesla (denominati appunto Tesla nel dataset), e quelli presenti in spazi di proprietà di privati che forniscono il servizio mediante le infrastrutture Tesla (Tesla Destination).

I grafi riportati di seguito pongono in evidenza una maggiore tendenza al posizionamento nelle zone più centrali e frequentate della città. Si può notare una leggera tendenza a spostarsi verso l'esterno dell'area urbana poiché lì si trovano l'aeroporto La Guardia ed il JFK, nella zona sud-ovest del grafo i due punti ravvicinati (visibili nell'anno 2020) sono posizionati a Staten Island.



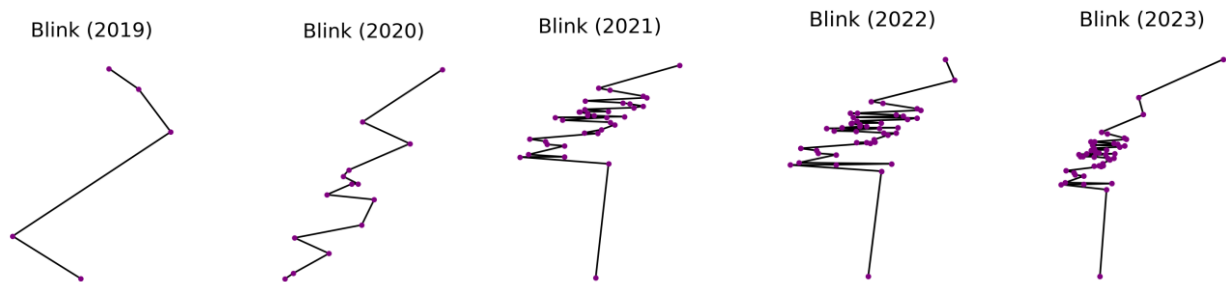
Charge Point Network

Passando, invece, all'analisi del secondo network per numero di osservazioni, possiamo registrare una crescita molto rapida nel giro di pochi anni: passando da 2 nodi nel 2019 (anno in cui abbiamo la prima registrazione del dato) a ben 72 all'inizio del 2023. Anche in questo caso, come si evince bene dal grafo dell'anno 2021, la tendenza è quella di cercare il posizionamento nel centro cittadino, e poi spostarsi nelle aree periferiche come aeroporti ed accessi/uscite autostradali.



Blink

Il terzo network analizzato, presenta 46 nodi, i dati li registrano il loro posizionamento tra il 2019 ed il 2023. Si può notare una tendenza simile a quella evidenziata per Charge Point: un “inizio” con un posizionamento più improntato al centro cittadino, ma l’espansione verso le zone periferiche è molto più limitata, ciò potrebbe essere dovuto ad una semplice politica aziendale dovuta al trade off tra costi/benefici oppure un mercato già saturo nelle aree più esterne ma ad alta densità di traffico.



3.5 La ricerca di un pattern generale

Conclusioni