

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

ELABORATO DI LAUREA

**ANALISI DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA
DI UN SISTEMA DI BIKE SHARING
AD ENERGIA SOLARE**

RELATORI

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CANDIDATO

DANILO VACCARO M67/82

ANNO ACCADEMICO 2013-2014

ABSTRACT

Il lavoro di tesi riguarda l'analisi di fattibilità tecnico-economica di un sistema di bike sharing ad energia solare per la città di Salerno.

Vista la difficoltà nel soddisfare il fabbisogno energetico mondiale, soprattutto a breve termine, attraverso l'utilizzo dei combustibili fossili, e considerato il loro effetto dannoso per l'ambiente, diventa di fondamentale importanza la produzione di energia elettrica attraverso fonti rinnovabili.

Il bike sharing, per definizione sistema di condivisione della bicicletta, consiste nella possibilità di prelevare, utilizzare e restituire biciclette, messe a disposizione, in molte città italiane ed europee, in punti di sosta strategici quali stazioni, parcheggi, zone pedonali ed università. L'utilizzo del sistema di bike sharing è particolarmente promettente sia in zone urbane di difficile accesso (centri storici, zone a traffico limitato, etc) sia in zone ove il costo dei parcheggi per auto sia molto elevato e/o ove la disponibilità di tali parcheggi sia scarsa.

Si tratta di un servizio di mobilità alternativa, pratico ed ecologico per tutti coloro che frequentano la città per lavoro, svago o turismo.

Il bike sharing nasce il 1965 quando, ad Amsterdam, i membri di un'avanguardia anarchica e d'ispirazione dadaista, i Provos, iniziarono a dipingere di bianco alcune biciclette, che furono lasciate sulle strade della città, in libero utilizzo. Con un susseguirsi di eventi positivi e negativi, dal 2000 in poi il bike sharing ha avuto un graduale sviluppo passando 13 sistemi nel 2004, 62 nel 2007, 128 nel 2008, oltre 200 nel 2009, 328 nel 2010 fino a 700 città dotate del sistema di bike sharing nel 2014 con una flotta combinata di quasi 800.000 biciclette.

Ovviamente, i sistemi di bike sharing rappresentano un'interessante opzione per ridurre sia i consumi energetici per il trasporto urbano, che le relative emissioni in atmosfera. In biciclette tradizionali questo obiettivo è intrinsecamente raggiunto. Viceversa, per la più moderne biciclette dotate di sistemi elettrici di pedalata assistita, l'obiettivo di risparmio energetico può essere raggiunto adottando sistemi rinnovabili per la produzione di energia elettrica necessaria a ricaricare le batterie.

In questo contesto, il lavoro di tesi si è concentrato sulla progettazione energetica del sistema di alimentazione elettrica delle biciclette e sull'analisi statistica dei primi dati di esercizio di un sistema di bike sharing installato presso la città di Salerno. Gli obiettivi finali del progetto sono:

- Riduzione dell'inquinamento atmosferico
- Riduzione dell'inquinamento acustico
- Miglioramento della qualità della vita

Il progetto prevede l'installazione di tre ciclo stazioni, aventi una copertura in pannelli fotovoltaici vetro-vetro, in modo da rendere il sistema autosufficiente e l'utilizzo di 24 biciclette a pedalata assistita.

Il sistema prevede la possibilità di utilizzo tramite una tessera idonea di una bicicletta elettrica a pedalata assistita, presso una delle ciclo stazioni predisposte e depositarla nello stesso punto o in una stazione diversa da quello di prelievo. Il prelievo e la riconsegna delle biciclette può avvenire presso tutte le ciclo stazioni 24h su 24h.



Figura 1 - Ciclo stazione Via Giuseppe Odierno

I vantaggi del sistema sono:

- Nessun costo per parcheggi e carburante.
- Più libertà mediante l'utilizzo di piste ciclabili presenti sul territorio comunale, l'accesso alle ZTL e alle aree pedonali.
- Riduzione di traffico veicolare e assenza di produzione di inquinamento atmosferico ed acustico.

Lo studio è partito da un'analisi sulla fattibilità economica del progetto, avendo analizzato in dettaglio tutte le voci che annualmente si ritrovano come costi e ricavi (legati a fattori energetici, commerciali, gestionali, etc) nella gestione del sistema. Pertanto, tramite l'utilizzo di un cash flow e lo studio di vari indici economici, si è verificata la fattibilità dell'investimento.

Considerando un investimento iniziale di 120 k€, tramite un cash flow, analizzando nel dettaglio i ricavi e i costi annuali dovuti alle varie componenti del sistema otterremo un quadro economico su una vita utile del sistema di 10 anni.

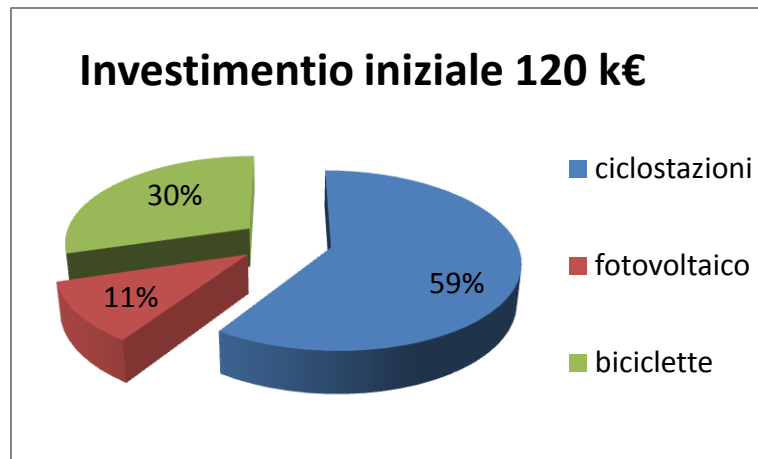


Figura 2- investimento iniziale

Nella figura-2 sono riportati nel dettaglio le percentuali relative all'investimento iniziale. In particolare notiamo che il 59% dell'investimento è da attribuire alla costruzione delle 3 ciclo stazioni, mentre il 30% deriva dall'acquisto delle 24 biciclette con gps incorporato e l'11% è dovuto alla costruzione del sistema fotovoltaico integrato alle ciclo stazioni per il funzionamento autonomo del sistema,

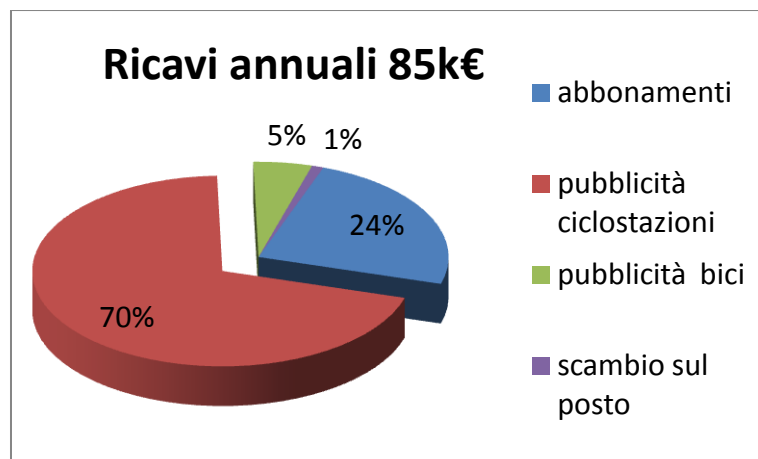


Figura3 - ricavi annuali

Nella (Figura 3) sono presenti tutti i ricavi annuali che il sistema produce, in particolar modo notiamo che circa il 24 % di introiti derivano dagli abbonamenti, mentre il 70 % derivano dall'affitto degli spazi predisposti nelle ciclo stazioni per la pubblicità, che in molti sistemi di bike sharing risulta essere l'introito che permette il funzionamento del sistema stesso.

Oltre agli introiti derivanti dagli abbonamenti e dalle pubblicità sulle ciclo stazioni, altri piccoli ricavi derivano per un 5% dalla pubblicità predisposta sulle biciclette e per meno dell'1% dallo scambio sul posto di energia elettrica prodotta dai pannelli, che non viene consumata per il funzionamento del sistema.

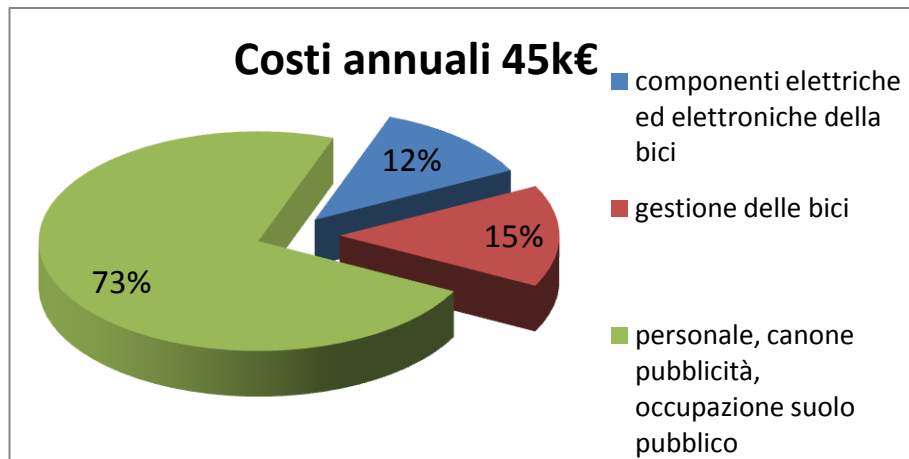


Figura 4- costi annuali

Nella (Figura 4) invece sono riportati i costi annuali del sistema, in particolare notiamo che il 12% dei costi annuali derivano dalle componenti delle biciclette che permettono la loro gestione tramite software. Un altro 15 % dei costi annuali provengono dalla ricollocazione e manutenzione delle biciclette, che è il maggior problema che si ha nella gestione del sistema, mentre il restante 73 % dei costi è da attribuire per buona parte al personale che opera per il funzionamento del sistema e in una più bassa percentuale al canone per la pubblicità e all'occupazione suolo pubblico

Tramite il cash flow si sono calcolati i vari indici economici che consentono di verificare la fattibilità del progetto e in particolare abbiamo posto attenzione sui seguenti indici:

SPB	3,02 anni
DPB	3,35 anni
VAN	189 k€
IP	1,58
TIR	0,31%

Tabella 1- indici economici

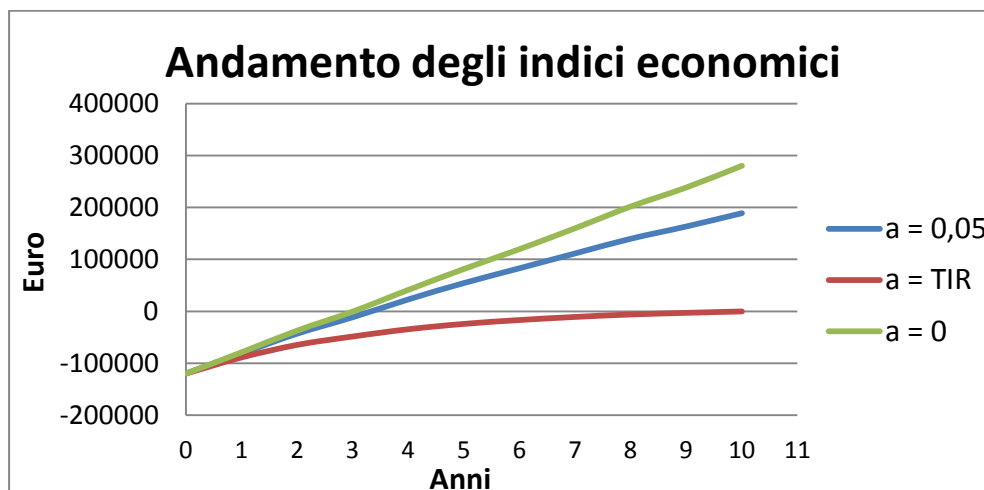


Figura 5- Andamento indici economici negli anni

I risultati mostrano come il sistema progettato presenta ottimi valori di tutti gli indicatori economici valutati. Questi risultati sono stati ottenuti sulla base delle ipotesi riportate in (Figura 2, 3 e 4). Tuttavia, è indispensabile anche valutare come questi indici possano variare al mutare delle condizioni al contorno (numero di abbonamenti, km percorsi, etc). Per questo motivo, l'analisi è stata completata da uno studio parametrico avente lo scopo di valutare la sensibilità dei risultati ottenuti. Nello specifico, sono stati valutati i seguenti scenari:

1. Caso 1: utilizzo medio di ogni singola bicicletta per 15 minuti al giorno;
2. Caso 2: utilizzo medio di ogni singola bicicletta per 30 minuti al giorno;
3. Caso attuale: utilizzo medio di ogni singola bicicletta per 1 ora al giorno;
4. Caso 3: utilizzo medio di ogni singola bicicletta per 2 ore al giorno;

	Caso 1	Caso 2	Caso attuale	Caso 3
SPB	4,75 anni	3,96 anni	3,02 anni	2,14 anni
DPB	5,55 anni	4,53 anni	3,35 anni	2,32 anni
VAN	73 k€	111k €	189 k€	304 k€
IP	0,61	0,93	1,58	2,54
TIR	0,16 %	0,22 %	0,31%	0,45 %

Tabella 2 – andamento degli indici al variare dei casi studio

Dall'analisi come riportato in (tabella 2), si deduce che il sistema di bike sharing tende a diventare sempre più conveniente all'aumentare del tempo di utilizzo delle biciclette. Ma tuttavia se il tempo di utilizzo scende al di sotto dell'ora, il sistema presenta indici economici ancora molto buoni.

Infatti si può notare che nel caso 1, in cui il tempo di utilizzo è di 15 minuti al giorno per ogni singola bicicletta, gli indici economici sono buoni, ma al di sotto di questo tempo di utilizzo l'investimento potrebbe risultare non fattibile economicamente.

Nel confrontare il caso3 rispetto al caso 1 notiamo che gli indici VAN , IP e TIR presentano valori quasi quadruplicati, mentre gli indici SPB e DPB si sono più che dimezzati e ciò indica che l'investimento iniziale ritorna in tempi sempre minori, con un VAN finale sempre maggiore.

Oltre all'aspetto economico si è analizzato l'effetto del dimensionamento dell'impianto fotovoltaico sui parametri energetici ed economici del sistema. Il sistema è composto da tre impianti fotovoltaici di identiche dimensioni, che nel totale hanno una potenza nominale di 6,8 kW, con un andamento della produzione di energia elettrica mensile come riportata in (figura 6)

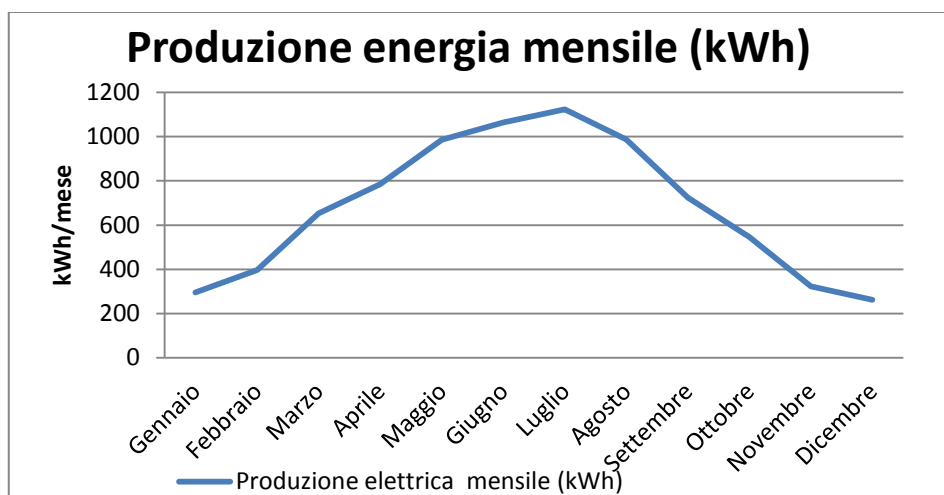


Figura 6- produzione di energia

La produzione totale di energia mensile è in media di 678 kWh, con una produzione annuale di 8143 kWh, mentre l'irraggiamento è di 420 kW/m² al mese con un irraggiamento annuale di 5040 kW/m²

Nella tabella 6 si è calcolato il consumo di energia mensile, che è dovuta :

- all'energia necessaria per ricaricare le batterie delle biciclette, dato che è stato calcolato conoscendo i km percorsi dalle biciclette mensilmente, e l'autonomia in km delle batterie.
- all'energia necessaria per illuminare le pensiline nelle ore notturne, che è stato ricavato conoscendo il numero di led per pensilina e la potenza per ogni singolo led.

Infine abbiamo effettuato la differenza tra l'energia prodotta e quella consumata mensilmente. .

Mese	km percorsi	Numero di ricariche	kWh per ricariche	kWh per illuminazione	Energia prodotta	Energia consumata	Differenza mensile
gennaio	1488	24,8	12,43	515,68	295,5	528,11	-232,61
febbraio	1344	22,4	11,23	433,52	397	444,75	-47,75
marzo	2976	49,6	24,86	430,15	653	455,01	197,99
aprile	6048	100,8	50,51	366,68	784	417,19	366,81
maggio	6696	111,6	55,92	339,44	986	395,37	590,63
giugno	6480	108	54,12	309,14	1063	363,26	699,74
luglio	6696	111,6	55,92	337,30	1123	393,22	729,78
agosto	3050	50,84	25,48	372,83	987	398,31	588,69
settembre	2304	38,4	19,24	404,35	724	423,60	300,40
ottobre	1488	24,8	12,43	461,93	546	474,36	71,64
novembre	1440	24	12,03	502,11	323	514,14	-191,14
dicembre	1488	24,8	12,43	512,70	261,8	525,13	-263,33

Tabella 3- produzione e consumi energetici sistema

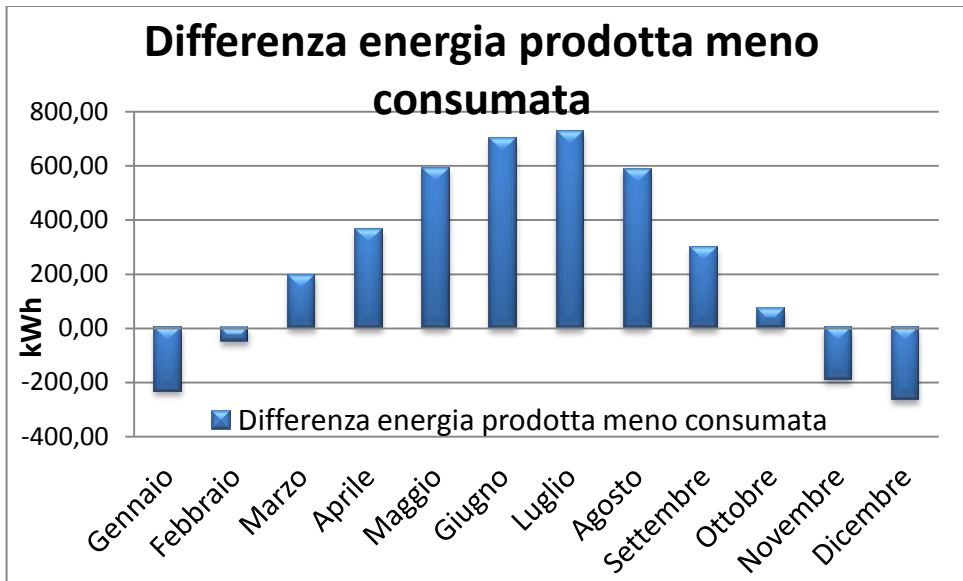


Figura 7 -Differenza energia prodotta meno consumata

Da notare che tranne per quattro mesi all'anno, l'energia prodotta è maggiore di quella consumata. Inoltre sul totale abbiamo un'energia residua positiva di 2810,9 kWh, che ci porta un residuo economico di 253 € anno. Nel caso non fossero stati montati i pannelli fotovoltaici il sistema avrebbe un consumo energetico annuo di 5332 kWh, che dal punto di vista economico corrisponderebbero a circa 1000 € anno.

L'ultima analisi riguarda il punto di vista ambientale, in particolare viene considerata la quantità di CO₂ non immessa in atmosfera nell'utilizzo delle biciclette al posto delle automobili.

Conoscendo che il valore medio di emissione di CO₂ in atmosfera da parte di un'auto è di circa 150 g/km e conoscendo i km percorsi mensilmente, possiamo calcolare mese per mese, il quantitativo di CO₂ risparmiato dal punto di vista ambientale. Dalle varie considerazioni fatte, alle condizioni attuali di utilizzo del sistema, arriviamo alla conclusione che, in un anno si raggiunge una quantità di 6224 kg di CO₂ non immesse nell'atmosfera.

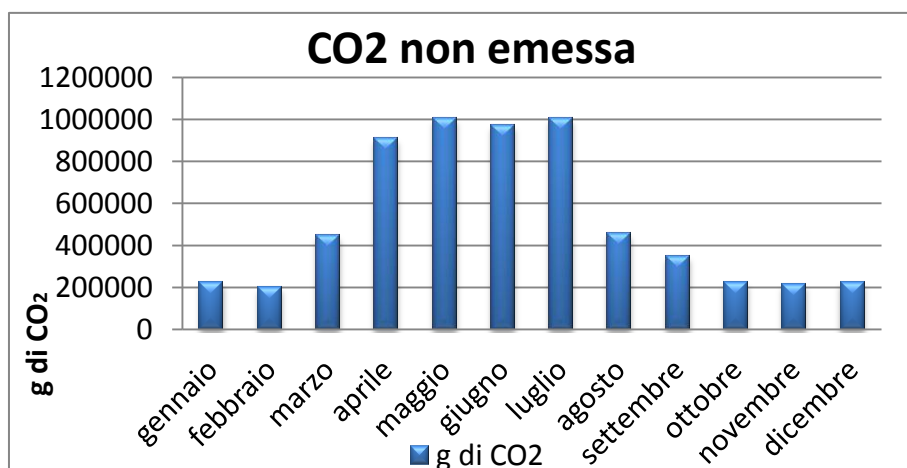


Figura 8- CO₂ non emessa in atmosfera

Infine è stato analizzato da un punto di vista statistico, il funzionamento dei primi tre mesi del sistema di bike sharing della città di Salerno. In primo luogo sono stati analizzati dei 202 abbonamenti sottoscritti nei primi tre mesi la loro suddivisione secondo le varie tipologie di abbonamento disponibile.

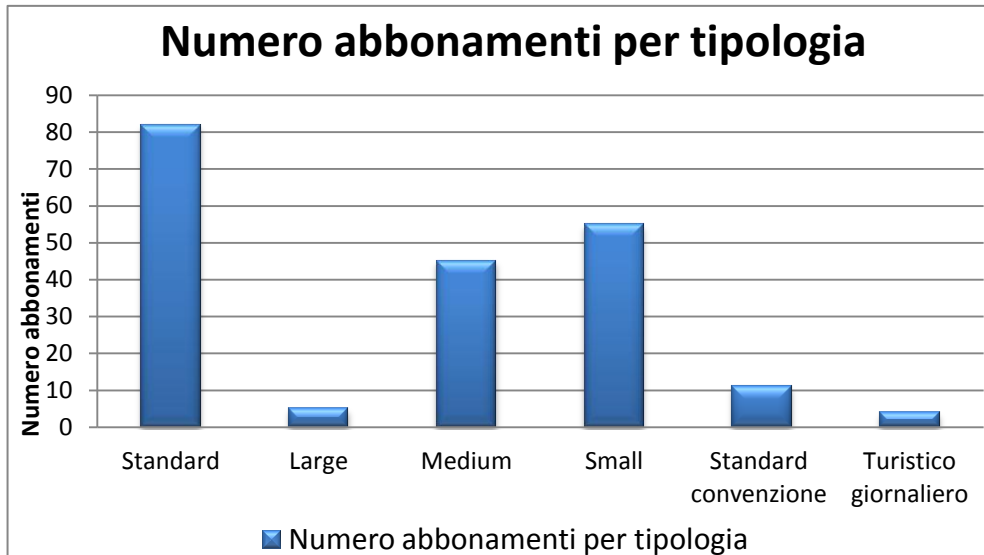


Figura 8 – Numero abbonati suddivisi per tipologia

Successivamente sono stati analizzati gli utilizzi delle biciclette in intervalli di tempo di 30 minuti, suddividendo il tutto in sette fasce, con l'ultima fascia che comprende tutti gli utilizzi per valori di tempo maggiori di 180 minuti.

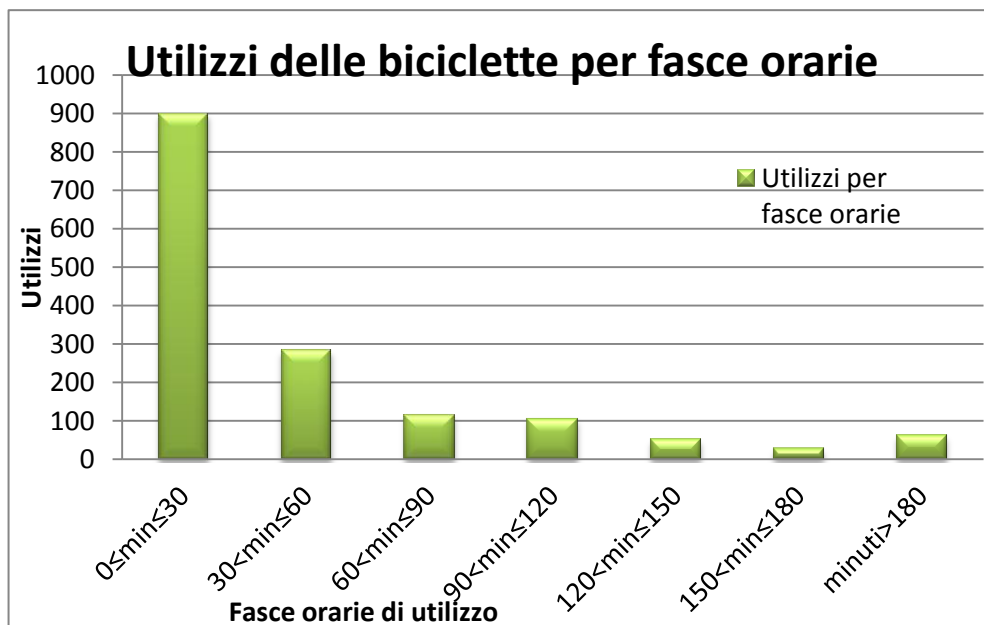


Figura 9 – utilizzi delle biciclette per fasce orarie

Dalla (Fig. 9) possiamo evincere che viene rispettato in toto il concetto base del Bike Sharing, cioè utilizzo delle biciclette solo per tempi brevi, per permettere la condivisione delle stesse da parte di tutti gli utenti. Infatti notiamo che per ben il 58 %, le biciclette vengono usate per periodi

inferiori ai 30 minuti, con una graduale diminuzione del numero di utilizzi all'aumentare del tempo. Questo dato si può accostare al numero ridotto di ciclo stazioni e al calcolo tariffario che scatta ogni 30 minuti.

Solo per il 18 %, gli utilizzi avvengono tra i 30 e i 60 minuti, mentre per il circa l'8% gli utilizzi avvengono in un intervallo di tempo compreso tra i 60 e i 90 minuti. Possiamo notare comunque che un buon 4%, utilizzano le bici per un periodo di tempo superiore ai 180 minuti, dato che possiamo attribuire agli abbonamenti turistici che permettono l'utilizzo delle biciclette per l'intera giornata.

Altro studio è stato effettuato, sul confronto del numero di utilizzi giornalieri nei tre mesi studio (figura 10). Nel confronto dei tre mesi notiamo che l'andamento generale del mese successivo rispetto al precedente scende gradualmente, dimezzandosi in numero di utilizzi passando dal mese di Agosto al mese di Ottobre. Dato che dipende essenzialmente dall'aumentare delle piogge, dalla diminuzione delle temperature e dalla diminuzione delle ore di sole giornaliere. Quindi il bike sharing è sensibile alle variazioni climatiche.

La media totale dei utilizzi giornalieri considerando tutti e tre i mesi di esercizio del sistema è circa di 17 al giorno.

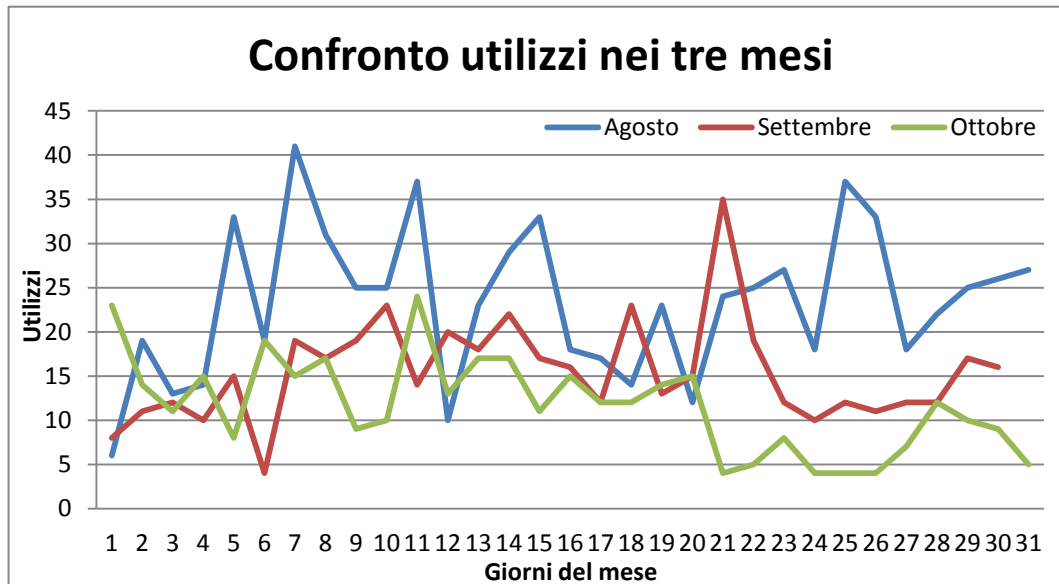


Figura 10 -utilizzi giornalieri nei tre mesi

Infine sono stati analizzati i km percorsi mensilmente e gli utilizzi mensili delle biciclette.

Il numero totale di utilizzi nei tre mesi di esercizio del sistema di Bike Sharing è stato di 1543 che sono suddivisi come segue nei singoli mesi:

- 724 utilizzi nel mese di agosto
- 455 utilizzi nel mese di settembre

- 363 utilizzi nel mese di ottobre

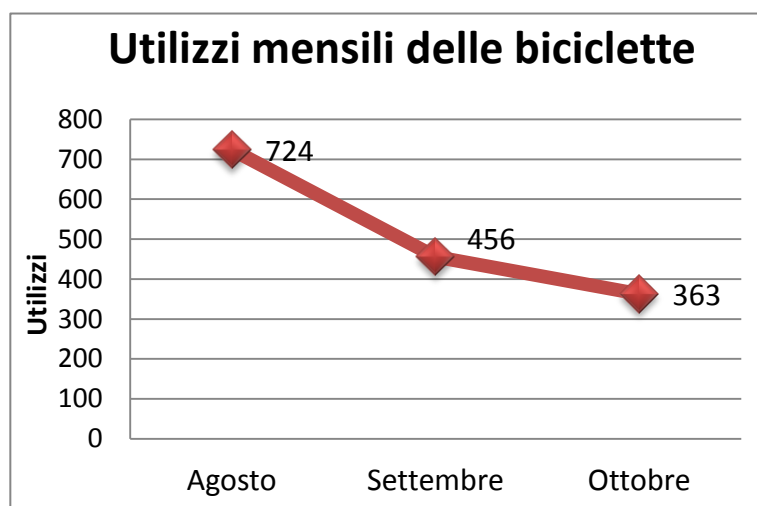


Figura 11 – Numero utilizzi mensili biciclette

Anche se lo studio è riferito a solo tre mesi, dal grafico possiamo notare, che l'andamento degli utilizzi varia al variare dei mesi e delle stagioni.

Infatti ad nel mese di agosto abbiamo il 47% dei utilizzi totali, rispetto al 30% di utilizzi nel mese di settembre e al solo 24% nel mese di ottobre. Questi dati si possono spiegare in quanto riferiti soprattutto all'andamento climatico.

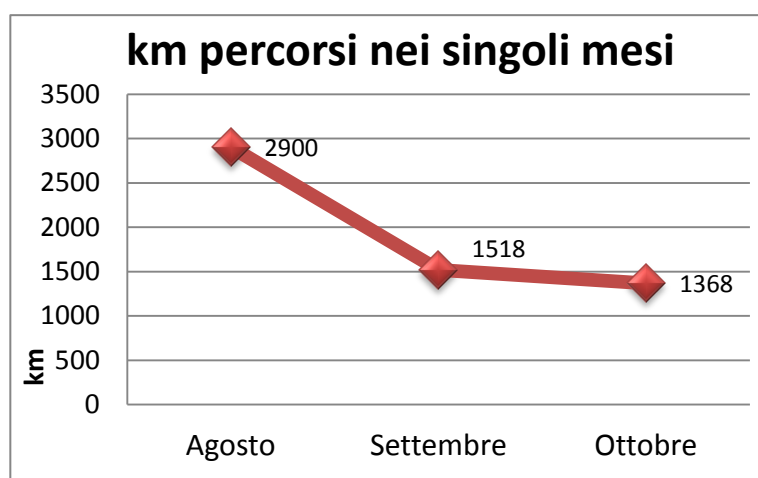


Figura 12 – Numero km percorsi

Nella (figura 12) invece sono riportati i km percorsi nei tre mesi e in totale sono stati percorsi 5786 km, con una media mensile di circa 1929 km. Dal grafico si evince subito che i km percorsi diminuiscono nei mesi, dato che si collega al numero di utilizzi che diminuiscono di ugual misura nei mesi e alle variazioni climatiche.