



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura  
Corso di Laurea in Ingegneria Edile

**L'EDIFICIO COGNITIVO COME  
NUOVO PARADIGMA PER  
LA GESTIONE DEGLI AMBIENTI ESISTENTI**  
Il caso di studio dei collegamenti verticali nell'Università Politecnica  
delle Marche

**THE COGNITIVE BUILDING AS A NEW PARADIGM  
FOR THE MANAGEMENT OF EXISTING  
ENVIRONMENTS**

**Relatore:** Prof. Enrico Quagliarini  
**Correlatore:** Ing. Gabriele Bernardini  
Ing. Elisa Di Giuseppe

**Candidato:** Maruska Donatucci

A.A. 2018/2019

# 1 Capitolo 1: La Manutenzione negli edifici

## 1.1 La dimensione dell'attività manutentiva odierna

Tale capitolo si pone l'obiettivo di presentare una sintesi delle conoscenze del settore delle costruzioni circa gli argomenti che si considerano importanti per la comprensione del seguente lavoro di tesi. Pertanto si è diviso il capitolo in sub capitoli riguardanti: il quadro normativo vigente, lo stato delle conoscenze per quanto concerne l'applicazione della strategia di manutenzione secondo condizione sia in campo normativo che da letteratura e, per finire, saranno evidenziate le problematiche e i punti deboli riscontrati durante le ricerche eseguite su questi temi che hanno reso possibile la progettazione e sperimentazione del caso studio.

## 1.2 Dimensione normativa

La manutenzione, secondo la UNI11063:2017 (Manutenzione - Definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria 2017), si configura come un processo iterativo, all'interno del quale vengono sviluppate nel tempo procedure di controllo e utilizzo di dati di archivio. Le attività manutentive sono finalizzate alla conservazione delle prestazioni entro valori accettabili a fronte dei fenomeni di degrado e al riallineamento delle prestazioni a fronte di fenomeni di degrado o di obsolescenza.

### 1.2.1 Piano di manutenzione

Il principale strumento di gestione delle attività manutentive è il piano di manutenzione, il quale ha l'obiettivo di programmare nel tempo gli interventi, individuare ed allocare le risorse necessarie in attuazione delle strategie predeterminate dalla proprietà (UNI 11257 2007).

In questa fase lo scopo diventa ottimizzare l'affidabilità complessiva dell'immobile e di ogni singolo componente mediante la definizione dei tipi di manutenzione da effettuare, unita all'individuazione delle frequenze degli interventi.

Per la stesura di un piano di manutenzione abbiamo bisogno di considerare delle condizioni necessarie come:

- la presenza di un quadro organico di informazioni derivanti sia dalla fase di progettazione che dai dati di ritorno;
- l'acquisizione di conoscenze necessarie alla previsione dei comportamenti nel tempo di materiali e componenti;
- avere la capacità di progettare le diverse categorie di azioni manutentive come pulizie, riparazioni, sostituzioni parziali o totali ecc.;
- avere la capacità organizzativa per la gestione delle risorse coinvolte nel processo di pianificazione, di programmazione e di attuazione degli interventi;
- capacità di elaborare previsioni dei costi di manutenzione nel tempo.

Il piano di manutenzione, diverso se si parla di opere in esercizio o opere di nuova costruzione, segue una procedura che si compone di una fase istruttoria iniziale, una fase di elaborazione delle previsioni di piano e una fase di elaborazione del programma delle attività.

Per quanto concerne la fase istruttoria per gli edifici esistenti l'elaborazione consiste in:

- individuazione del quadro di strategie di manutenzione più adeguate su diversi archi temporali;
- in riferimento alle strategie assunte, individuazione degli standard di servizio, dei criteri di controllo delle risorse operative, dei costi medi annui;
- costruzione della previsione di spesa e risorse economiche disponibili.

In tale fase le informazioni necessarie derivano dalla documentazione reperibile dalla fase di progettazione e di costruzione, dalla fase di gestione e dall'esito delle ispezioni e delle verifiche effettuate in considerazione dello stato degli elementi tecnici per i quali si era ritenuta necessaria l'analisi. Prima della stesura del piano è necessario organizzare e analizzare le informazioni raccolte al fine di svolgere verifiche di adeguatezza delle informazioni disponibili, di effettuare eventuali integrazioni e o aggiornamenti e di individuare, se occorre, reperire ulteriore materiale e di che tipo.

Successivamente occorre classificare e organizzare anagraficamente in modo da consentire la scomposizione dell'edificio in unità tecnologiche ed elementi tecnici ed eventuale inserimento di nuovi elementi, per poi codificarli e rendere la loro individuazione e localizzazione univoca anche delle informazioni relative agli stessi

elementi. A conclusione di questa fase il criterio di ordinamento delle priorità deve essere definito in relazione alla sicurezza di persone e beni, carico d'utenza, emergenza funzionale, incidenza sulle attività ordinarie.

Mentre la fase di elaborazione delle previsioni di piano prevede la definizione della più adeguata combinazione di strategie di manutenzione e deve giungere, in riferimento ad un arco temporale medio-lungo, a stabilire tre aspetti basilari:

- standard di servizio, cioè le attività da eseguire associate alle frequenze temporali della loro esecuzione;
- tecniche, ossia l'indicazione delle modalità di esecuzione degli interventi per ogni elemento tecnico in relazione alla specifica strategia di manutenzione adottata, le durate di intervento e le risorse;
- costi previsti per gli interventi.

A concludere sarà elaborato un programma delle attività che costituiscono la base sia per la costruzione di un preventivo dettagliato di spesa su breve periodo che per l'elaborazione di un programma cronologico delle attività (UNI 11257 2007).

### 1.2.2 Strategie manutentive

La definizione delle possibili forme di intervento manutentivo da adottare per l'organizzazione degli interventi manutentivi rappresenta una fondamentale decisione per la successiva previsione delle caratteristiche, delle modalità di esecuzione e delle frequenze temporali delle attività da svolgere in funzione di determinati standard di qualità prefissati. Le decisioni assunte in merito alle strategie di manutenzione condizionano significativamente le previsioni dei costi manutentivi e sono possibili, in sede di valutazione del bilancio di manutenzione, di eventuali revisioni, da condurre nel rispetto delle politiche di manutenzione prefissate (UNI 11257 2007).

Le strategie di manutenzione adottabili possono essere raggruppate in due principali categorie:

1. **Manutenzione preventiva**, la quale risulta conveniente per elementi tecnici e / o avarie con elevati livelli di criticità, in relazione all'importanza della prestazione e / o della funzione compromessa, alla possibile proliferazione dei guasti e al livello di manutenibilità dell'entità stessa. Tale strategia manutentiva può essere praticata secondo tre principali forme:

- Manutenzione preventiva secondo condizione è adatta per elementi caratterizzati da un andamento progressivo delle alterazioni e del calo di funzionalità. Gli interventi vengono attivati in conseguenza agli esiti delle attività ispettive previste dal piano; la praticabilità di questa strategia implica la disponibilità di istruzioni operative per il controllo dello stato dell'elemento, la conoscenza dell'affidabilità degli elementi, personale addetto ai controlli e indicatori dello stato di funzionamento dei diversi elementi tecnici e di criteri e parametri per la valutazione di tali indicatori. La convenienza a praticare la manutenzione secondo condizione deve essere valutata anche in relazione alla stima dei costi di ispezione a fronte del costo di intervento a guasto. Inoltre le cadenze temporali delle ispezioni devono essere stabilite in ragione della conoscenza della durata e dell'affidabilità dell'elemento tecnico (vale a dire, tempo atteso di durata e probabilità di raggiungere il tempo di durata) e dell'andamento del tasso di guasto.
  - Manutenzione preventiva ciclica a data costante o a età costante è caratterizzata da interventi effettuati periodicamente secondo scadenze prefissate per intervalli di tempo e / o cicli di funzionamento; è praticabile in relazione alla conoscenza della durata e dell'affidabilità dell'entità e dei dati storici relativi al comportamento nel tempo e agli eventuali interventi effettuati in precedenza.
  - Manutenzione preventiva secondo opportunità si riferisce a operazioni di manutenzione programmata, che si può decidere di anticipare rispetto ai tempi previsti, condotte in occasione di interventi già attivati (programmati o no) su altri componenti. L'opportunità deve essere valutata in relazione alla disponibilità finanziaria e ai diversi fattori logistici, quali l'entità dell'intervento in corso, le caratteristiche delle risorse umane, i materiali e le attrezzature e / o le opere provvisorie già presenti.
2. **Manutenzione correttiva o a un guasto** riguarda gli interventi effettuati a seguito della rilevazione ( in seguito a segnalazione o a ispezione) di un guasto e finalizzati a riportare gli elementi tecnici nello stato previsto. Tale manutenzione può essere assunta quando non è economico adottare provvedimenti preventivi

e la diminuzione temporanea della prestazione risulta accettabile. La manutenzione d'urgenza si applica nei casi di guasti imprevedibili o prevedibili ma che accadono in tempi diversi da quanto previsto.

La manutenzione fornisce un contributo essenziale alla fidatezza di un'entità. Sono quindi richieste definizioni corrette e formali che forniscano all'utilizzatore di norme associate sulla manutenzione una più ampia comprensione dei termini utilizzati riguardanti la stessa manutenzione. Inoltre tali termini possono rivestire un'importanza particolare nella formulazione di contratti di manutenzione.

Di conseguenza si è ritenuto necessario riportare le tabelle di riepilogo contenute nella norma UNI EN13306:2018, la quale specifica i termini generici e le loro definizioni per le aree tecnica, amministrativa e gestionale della manutenzione (UNI EN 13306 2018).

### Tipi di Manutenzione

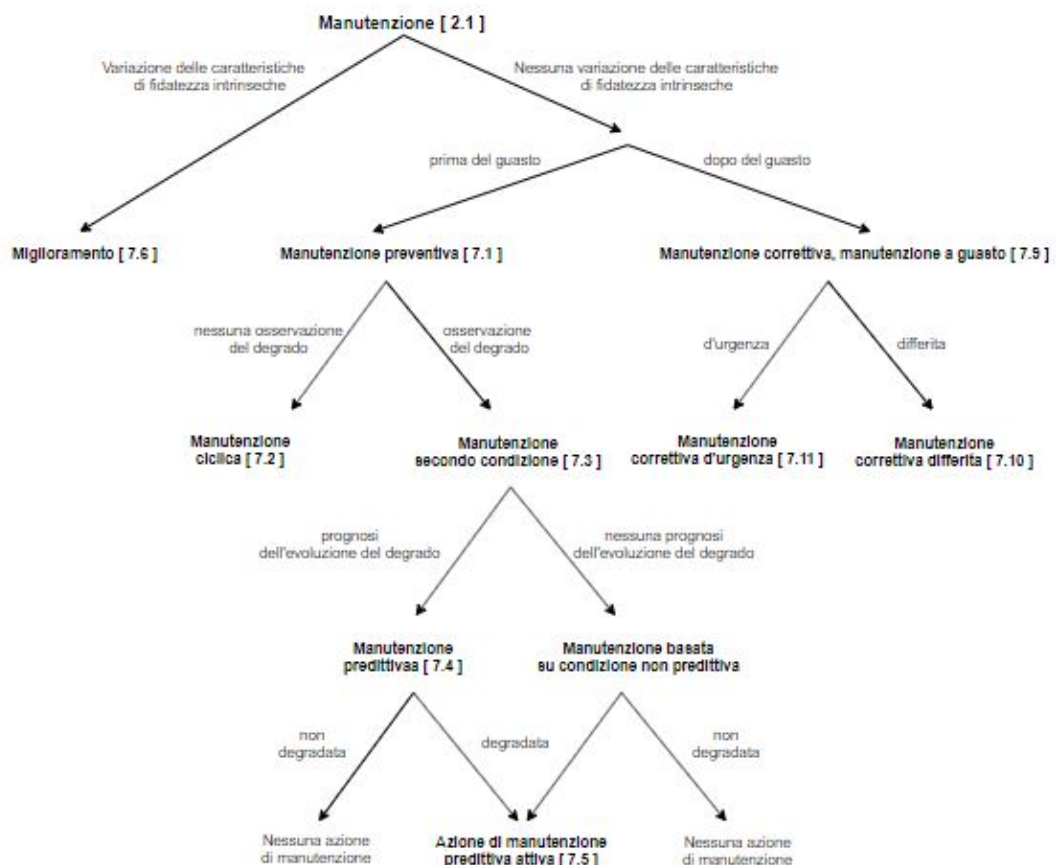


Figura 1.1 Tipi di manutenzione UNI EN 13306:2018

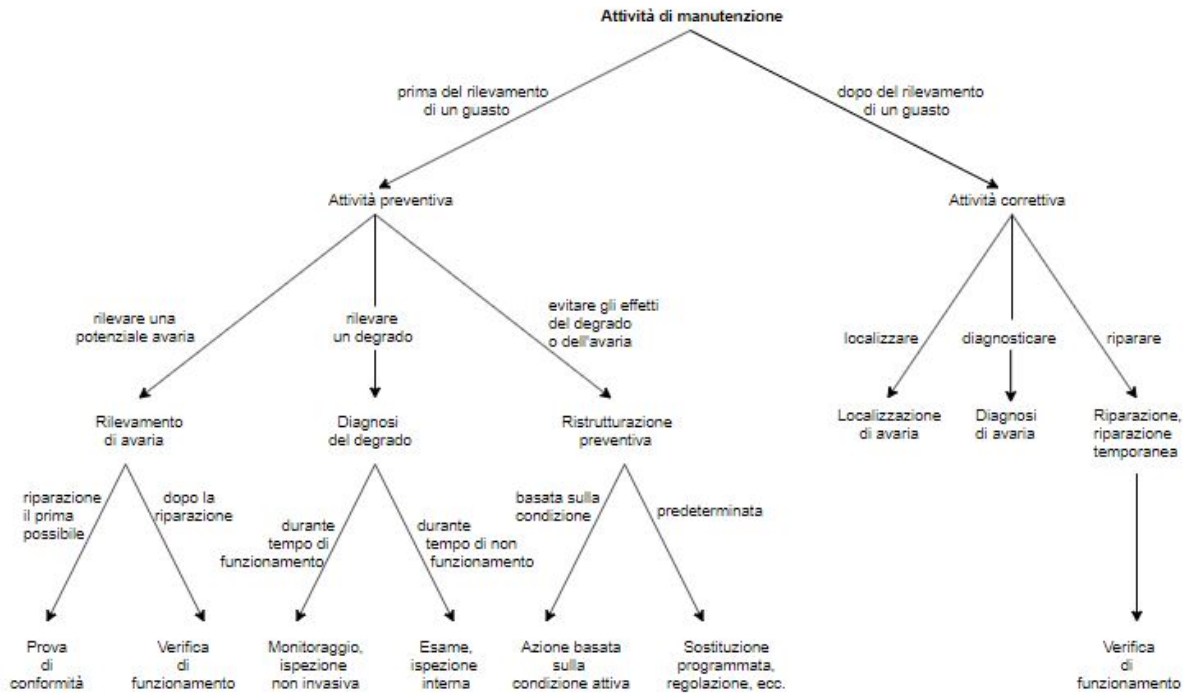


Figura 1.2: Attività di manutenzione UNI EN 13306:2018

### 1.3 Le unità tecnologiche

Secondo UNI 10838:1999 il sistema tecnologico è un insieme strutturato di unità tecnologiche e / o di elementi tecnici definiti nei loro requisiti tecnologici e nelle loro spiegazioni di prestazioni. Per requisiti tecnologici si intende la traduzione di un'esigenza in fattori tecnico-scientifici atti ad individuarne le condizioni di soddisfacimento da parte di un sub sistema tecnologico e / o di un elemento tecnico (UNI 10838:1999 1999). La scomposizione del sistema tecnologico è funzionale alla identificazione degli oggetti di cui le norme trattano allo scopo di unificare la terminologia da impiegare nelle attività normative, progettuali, operative e di comunicazione. Per questo si può identificare la scomposizione del sistema tecnologico come uno strumento flessibile, che viene declinato a seconda del contesto e della funzione a cui ci si riferisce:

- PROGETTUALE in base alla produzione di costruzione e assemblaggio e quindi affidata a chi produce e realizza;
- FUNZIONALE in base alle modalità di funzionamento e uso del sistema e / o delle singole parti perciò utilizzata da chi progetta e gestisce;

- MERCEOLOGICO in base alle modalità di commercializzazione degli elementi costruttivi.

La scomposizione funzionale (UNI8290 1981) ci fornisce la classificazione e l'articolazione del sistema tecnologico, in base alla funzione che svolge all'interno dell'organismo edilizio, prevedendo tre gradi gerarchici di scomposizione partendo da 8 classi di elementi tecnologici-funzionali.

La scomposizione definisce tre livelli e dà luogo a tre insiemi denominati:

- Classi di unità tecnologiche: elementi funzionali omogenei, raggruppati per funzione prevalente, per continuità fisica e funzionale;
- Unità tecnologiche: raggruppamento di funzioni compatibili tecnologicamente, necessaria per l'ottenimento di prestazioni prestabilite;
- Classi di elementi tecnici: elementi capaci di svolgere, completamente o parzialmente, funzioni proprie di una o più unità tecnologiche.

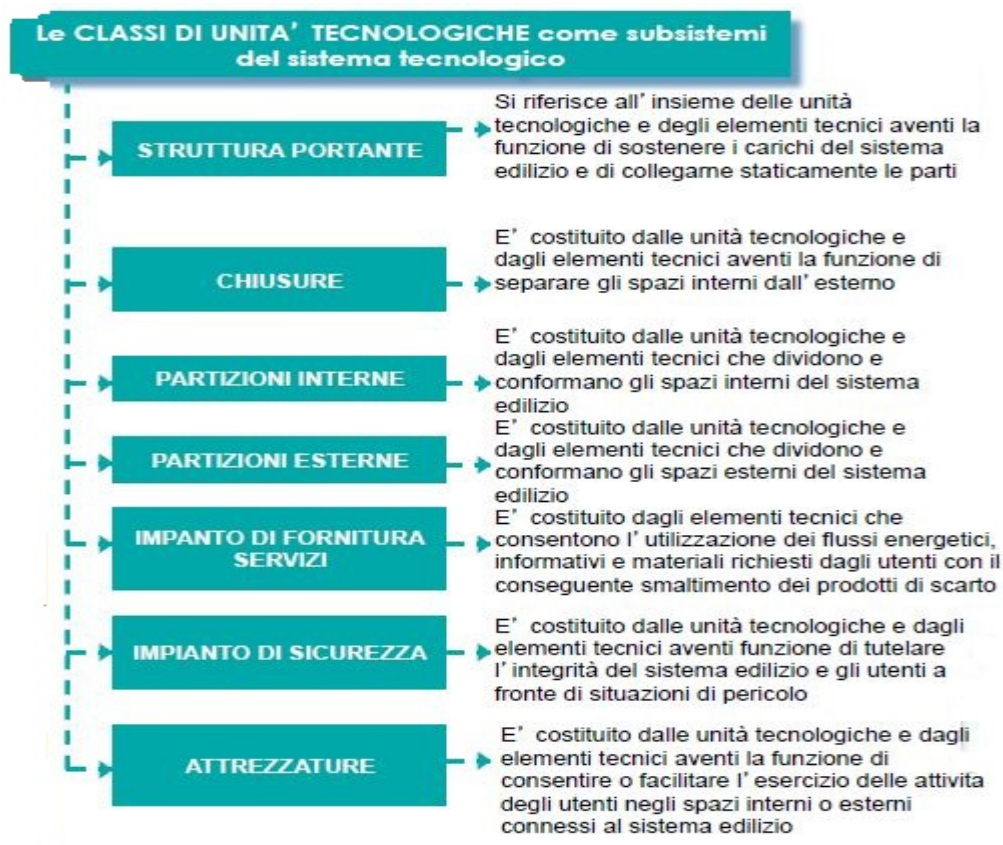


Figura 1.3: Classi di unità tecnologiche UNI8290



## 1.4 Diversi approcci della Condition based Maintenance da articoli di letteratura

Dopo aver consultato la normativa vigente, si è ritenuto necessario ed indispensabile ricercare i concetti di Manutenzione secondo condizione anche tra gli articoli presenti in letteratura per avere un quadro più completo dello stato attuale delle conoscenze sull'argomento.

### 1.4.1 Definizione

Il concetto di Condition Based Maintenance (CBM) fu introdotto per la prima volta dalla Rio Grande Railway Company alla fine degli anni '40 e inizialmente fu chiamato manutenzione predittiva (Bechtel 2012). Esistono varie definizioni sul concetto di CBM. Bengtsson (Bengtsson 2004) lo descrisse brevemente come una manutenzione preventiva basata sul monitoraggio delle prestazioni e / o dei parametri e di azioni successive. Secondo la definizione di Kothamasu (Kothamasu et al. 2006), CBM è una strategia decisionale in cui la decisione di eseguire la manutenzione viene raggiunta osservando le condizioni del sistema e / o dei suoi componenti. Queste definizioni riguardano l'obiettivo della CBM, ma hanno limitazioni nel descrivere la procedura della stessa strategia manutentiva. D'altro canto, Butcher [4] l'ha definita come una serie di azioni di manutenzione basate sulla valutazione in tempo reale o quasi in tempo reale delle condizioni dell'elemento, ottenute da sensori incorporati e / o prove e misurazioni esterne eseguite da apparecchiature portatili. Questa definizione include aspetti tecnici di CBM rispetto a quelli precedenti, ma mancano le descrizioni sull'obiettivo CBM. La definizione ritenuta più completa tra quelle ricercate risulta essere quella che vede la Condition Based Maintenance come una politica di manutenzione che fa attività manutentive prima che si verifichino guasti del prodotto, valutando le condizioni dello stesso in tempo reale, sulla base dei dati raccolti (Shin and Jun 2015).

### 1.4.2 Vantaggi e svantaggi

Tra i vantaggi, in primo luogo, si può affermare che la CBM ci fornisce un avvertimento preventivo sul fallimento imminente e una maggiore precisione della previsione del fallimento. Pertanto può ridurre efficacemente il fallimento dell'elemento rispetto ad

altri approcci. Il CBM contribuisce all'efficienza della sicurezza e ne ottimizza la gestione della stessa grazie al rilevamento dei problemi del prodotto prima che si verifichino guasti o anomalie, il che porta al miglioramento delle soddisfazioni dei clienti grazie all'elevata garanzia di qualità(Shin and Jun 2015). Di conseguenza permette ai fornitori dei servizi di manutenzione di evitare il costo del rischio a causa dell'insoddisfazione della qualità dell'elemento.

Il vantaggio è riscontrato anche da parte degli utenti finali, i quali eseguono una manutenzione programmata migliore, riducono o eliminano le ispezioni non necessarie e riducono in sicurezza gli intervalli di manutenzione basati sul tempo(Chen, Yang, and Hu 2012).

Inoltre, il CBM può ottimizzare il processo di produzione e migliorare la sua produttività. Fornisce la possibilità per il sistema di continuare a funzionare fino a quando si sta eseguendo entro i limiti prestazionali predefiniti(Bechtel 2012). Aiuta anche nelle procedure diagnostiche in quanto è relativamente facile associare l'errore a componenti specifici attraverso i parametri monitorati. Può essere collegato al controllo adattivo facilitando così l'ottimizzazione del processo.

Tuttavia, nonostante tutti questi benefici e punti a favore, la condition based maintenance ha alcune limitazioni. Secondo gli studi di Hashemian e Bean(Hashemian 2010), quasi il 30% delle attrezzature industriali non beneficia della CBM. Prima di tutto, il costo dell'investimento per la CBM è solitamente alto; per implementarlo, è necessario installare e utilizzare apparecchiature di monitoraggio e sviluppare un certo livello di modellazione o strategia decisionale. Inoltre, per il implementare la CBM, è necessario non solo l'investimento hardware, ma anche la formazione del personale, aumentando di molto i costi. È da sottolineare anche che le tecnologie e i metodi per l'approccio CBM sono ancora agli inizi e ciò significa che ci sono diverse limitazioni nel garantire l'accuratezza della diagnostica e della prognosi.

### 1.4.3 Tecniche di elaborazione dati

Esistono vari tipi di tecniche da applicare nell'elaborazione dei dati, nella diagnostica e nella prognosi per l'implementazione della CBM come mostrato nella **Tabella 1.1**.

Survey of condition-based maintenance techniques.

Phase	Techniques
Data processing	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kalman filtering</li> <li>- Time-frequency/time-frequency moments</li> <li>- Wavelet analysis</li> <li>- Autoregressive (AR) model</li> <li>- Fourier analysis</li> <li>- Wigner-Ville analysis</li> <li>- Fuzzy logic</li> <li>- Artificial Neural network</li> <li>- Genetic algorithms</li> <li>- Statistical pattern recognition</li> <li>- Hidden Markov model</li> <li>- Support Vector Machine</li> <li>- Decision tree induction</li> </ul>
Diagnostics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logistic regression</li> <li>- Artificial Neural network</li> <li>- Reliability theory</li> <li>- Statistical analysis (e.g. Regression)</li> <li>- Time series data analysis</li> </ul>
Prognostics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Case Based Reasoning (CBR)</li> <li>- Renewal theory</li> <li>- Math programming</li> <li>- Simulation</li> </ul>
Maintenance operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Multi-Criteria Decision Making (MCDM)</li> </ul>

**Tabella 1.1 Tecniche da applicare nell'elaborazione dati (Shin and Jun 2015)**

Ci sono tre tipi di approcci(Lee 1998):

1. Approccio basato sui dati
2. Approccio basato sul modello
3. Approccio ibrido

Secondo Caesarendra(Shin and Jun 2015), l'approccio 1 ha la capacità di trasformare i dati ad alta dimensione in informazioni di dimensioni inferiori; è anche noto come approccio di data mining o approccio di machine learning, che utilizza dati storici per apprendere automaticamente un modello di comportamento del sistema. Tuttavia tale metodo dipende dalla qualità dei dati operativi e c'è una comprensione fisica del prodotto target. Al contrario, l'approccio basato sul modello ha la capacità di incorporare la comprensione fisica del prodotto di destinazione. Si basa sull'uso di un modello analitico (insieme di equazioni algebriche o differenziali) per rappresentare il comportamento del sistema, compresi i fenomeni di degrado(Tobon-Mejia et al. 2012).

Ma ha un limite ossia che può essere applicato solo a tipi specifici di elementi. La **Tabella 1.2.** mostra diverse tecniche per ciascun approccio.

Survey of condition-based maintenance techniques.

Classification	Techniques
Model driven approach	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physics based</li> <li>- Classical AI techniques (rule-based expert systems, finite-state machines, qualitative reasoning) [28]</li> <li>- Conventional numerical algorithms (linear regression, Kalman filters) [28]</li> <li>- Statistical approach (multivariate statistical method, state space models, regressive model) [27]</li> <li>- Machine learning (neural networks, decision trees, support vector machines) [28]</li> </ul>
Data driven approach	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANN based, Bayesian network, Hidden Markov Model, Principal component analysis, Gray model [27]</li> <li>- Expert systems [27]</li> </ul>
Knowledge-based approach	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuzzy logic [27]</li> </ul>

**Tabella 1.2. Tecniche per ogni approccio di elaborazione dati**

#### 1.4.4 Procedura

La Condition based Maintenance può essere effettuata:

1. Raccogliendo dati sullo stato dell'elemento e dal monitoraggio dello stesso;
2. Facendo una diagnosi sullo stato dell'elemento in tempo reale;
3. Stimando il livello di deterioramento del prodotto, il suo costo di riparazione o di sostituzione;
4. Facendo una previsione del tempo di anomalia degli elementi;
5. eseguendo azioni appropriate come riparazione, sostituzione, utilizzo così com'è e smaltimento.

Per implementare l'approccio CBM, è necessario risolvere diversi problemi di ricerca relativi alla raccolta, all'analisi, alla decisione e alle azioni dei dati. Nel livello di raccolta dati, una grande quantità di dati sul campo sono stati raccolti mediante vari metodi di acquisizione dati utilizzando sensori, tecniche cablate e wireless e archiviati in database(Bechtel 2012). Prima di raccogliere i dati, è necessario identificare quali dati devono essere raccolti durante il periodo di utilizzo degli asset. Per l'analisi, è necessario sviluppare un algoritmo che valuti il comportamento e il livello di degrado di una risorsa e ne preveda la durata residua.

L'analisi è composta da due parti: diagnosi e prognosi. La diagnostica comprende il rilevamento e l'isolamento dei guasti che permette di dare una posizione e un'identificazione al guasto stesso(Gruber, Yanovski, and Ben-Gal 2013). A tal fine, la diagnostica richiede dati pre e post elaborazione, e gli stessi dati devono essere interpretati, fusi e utilizzati in metodi statistici con conoscenze specifiche sugli asset.

D'altra parte, la prognosi corrisponde alla stima del tempo di fallimento e al rischio di una o più modalità di guasto esistenti e future basate su un utilizzo futuro previsto (Tobon-Mejia et al. 2012). A tal fine coloro che si occupano di prognosi valutano la stima dell'indice di 'salute' del sistema e delle previsioni della restante vita utile (RUL). La prognostica viene impiegata integrando i dati da sensori e i modelli di predizione che consentono di valutare in situ l'entità della deviazione o della degradazione di un prodotto da una normale condizione operativa prevista (Sun et al. 2010). È di fondamentale importanza valutare il RUL di un bene mentre è in uso poiché ha impatti sulla pianificazione delle attività di manutenzione, fornitura dei pezzi di ricambio, prestazioni operative e redditività del proprietario di un bene.

A livello decisionale, in primo luogo, ci sono alcuni problemi decisionali da prendere:

- selezionare i parametri da monitorare;
- determinare la frequenza d'ispezione;
- stabilire i limiti di avviso.

Inoltre è anche necessario sviluppare un metodo decisionale che selezioni la migliore operazione di manutenzione economica dicendoci quale opzione di manutenzione è la migliore in una situazione in termini di costi di manutenzione. A seconda dei casi, esistono diverse opzioni di manutenzione relative a cosa, quando e come eseguire la manutenzione. Per ciascuna opzione, è necessario creare modelli di costi di manutenzione. Il confronto di tali modelli consente di selezionare il miglior piano di manutenzione economicamente vantaggioso. Nel livello di azione, è necessario progettare piani di azione per tutti gli scenari possibili. Infine, è necessario sviluppare un quadro per integrare queste quattro questioni.

## 1.5 Interazione edificio-utenti e comportamento umano negli edifici

L'utenza rappresenta una delle variabili principali da considerare nella definizione della qualità dell'edificio; tale qualità globale dell'edificio, infatti, non è definibile senza tenere in conto i rapporti con i suoi utenti e con le attività che si svolgeranno all'interno (Simeone 2015).

Come definisce lo scrittore e filosofo Pirsig, "la qualità è un principio attraverso il quale il dualismo esistente tra l'oggetto e il soggetto-individuo viene superato".

Tale concetto può essere esteso all'organismo edilizio e ritenere che non è più pensabile il prescindere dal rapporto con l'essere umano nella valutazione di un oggetto edilizio, ma la stessa presenza della componente umana a cui l'edificio deve relazionarsi in termini prestazionali è un elemento discriminante all'interno della sua definizione (Enrico 1978). Quindi risulta chiaro che un organismo edilizio non può essere compreso a fondo senza analizzare il contesto di riferimento e il suo rapporto con il processo d'uso previsto ed i suoi utenti.

Il comportamento umano in un ambiente costruito è un indicatore chiave del reale livello di soddisfacimento dei requisiti funzionali, sociali, ambientali e operativi portati dagli utenti. Per comportamento ci si riferisce ad un insieme strutturato di azioni compiute da un essere umano in modo conscio o inconscio, orientato al raggiungimento di determinati obiettivi, e influenzato dal contesto che lo circonda.

La conoscenza legata al comportamento degli utenti viene introdotta nel processo progettuale per mezzo di regole, di linee guida, norme, spesso utilizzate in modo cieco e senza un adeguato spirito critico. In genere sono riconducibili due modi di rappresentare questa conoscenza in modelli previsionali e valutativi: il primo è utilizzo di regole e norme come rappresentazione statica, il secondo è la costruzione di modelli dinamici di comportamento. Sebbene l'utilizzo di norme e regole di buona pratica abbia mostrato limiti nella rappresentazione in ambito progettuale del comportamento umano a causa dell'eccessiva generalità, esso rimane ancora prevalente (Simeone 2015).

## 1.6 Sintesi degli articoli di letteratura

Nel realizzare lo stato delle conoscenze, sono diversi i lavori presi in considerazione riguardanti sia la Condition Based Maintenance e sia la relazione tra la manutenzione e il comportamento degli occupanti. Al fine di trovare una logica di operazione si è cercato di fare una sintesi restituendo una tabella organizzata secondo parole-chiave.

Partendo dalla keyword di riferimento, ossia il comportamento degli occupanti, vengono inserite le seguenti voci che accumulano gli studi esaminati in questo lavoro. Ogni voce occupa una colonna e a sua volta le prime due colonne si suddividono ulteriormente in campi più specifici **Tabella 1.3:**

Le suddivisioni sono:

1. Colonna1-APPLICAZIONI: suddivisa in PRESTAZIONI DEGLI EDIFICI e MANUTENZIONE PREDITTIVA CBM: si intende evidenziare i campi in cui il comportamento degli occupanti viene studiato;
2. Colonna2-CATEGORIE DI APPLICAZIONI: suddivise in ELETTRICO, TERMOIDRAULICO, ASCENSORI, SERRAMENTI, COMPONENTI EDILI: hanno la funzione di fornire indicazioni ben precise sull'unita tecnologica esaminata per ogni applicazione;
3. Colonna3-METRICHE: definite come standard di misurazione di una funzione o di una operazione, che possono individuare e comunicare i progressi verso il raggiungimento degli obiettivi di prestazione(O'Brien et al. 2017);
4. Colonna4-AZIONI OCCUPANTI: sono i comportamenti degli occupanti esaminati e visti come oggetto di studio nei singoli articoli;
5. Colonna5-STUDI ESAMINATI: Autore e anno di pubblicazione dell'articolo.

Le restanti colonne esplicano l'approccio metodologico alla modellazione del comportamento degli occupanti. Tale macrocolonna si compone di tre fasi principali quali:

- MONITORAGGIO
  - oggettivo: derivante da dati reali provenienti da sensori
  - soggettivo: dati ottenuti da questionari, interviste e sondaggi;
  - tempo di risoluzione: tempo impiegato per effettuare il monitoraggio completo.
- MODELLAZIONE
  - modelli impliciti stocastici, quali variabile singola lineare, regressione logistica, algoritmo ecc
  - modelli espliciti dinamici, quali Catena di Markov, Modello agent-based ecc
  - orizzonte di previsione: tempo di previsione del modello sperimentato
  - supporto data-mining: il Data Mining, visto come sottodominio dell'Intelligenza Artificiale, è definito come un processo che mira a generare conoscenza dai dati e a restituire risultati esaustivi per l'utente(Schuh et al. 2019).

- **SIMULAZIONE:** in questa colonna vengono espressi principalmente i risultati, se presenti, riportati in ogni lavoro esaminato, in particolar modo l'accuratezza del risultato raggiunto.

**Tabella di sintesi sullo stato dell'arte**

PAROLE-CHIAVE					
	APPLICAZIONI	CATEGORIE DI APPLICAZIONE	METRICHE {OBrien2017}	AZIONI DEGLI OCCUPANTI	STUDI ESAMINATI
COMPORTAMENTO OCCUPANTI		ELETTRICO	Quantificare l'energia sprecate	Utilizzo impianto elettrico	{OBrien2017} {Yan2015a}
		ASCENSORI	Consumo di elettricità Traffico utenti	Consumo energetico annuale	{Tukia2016}
	PRESTAZIONI DEGLI EDIFICI	TERMO-IDRAULICO	Temperatura, UR	Utilizzo doccia, riscaldamento, piano cottura	{Pereira2018}
		SERRAMENTI	Stato della finestra	Apertura e chiusura delle finestre	{Pereira2018} {Yan2015a}
		COMPONENTI EDILI			
		TERMO-IDRAULICO	Disagio breve e a lungo termine	Raggiungimento della temperatura richiesta	{Cauchi2017}
	MANUTENZIONE PREDITTIVA CBM	SODDISFAZIONE UTENTE	Disagio giornaliero	Generiche azioni attive	Cao, Y., Wang, T., & Song, X. (2015)
		ASCENSORI	Info sul modello di viaggio		{Skog2017}

APPROCCIO METODOLOGICO ALLA MODELLAZIONE DEL COMPORTAMENTO OCCUPANTI							
MONITORAGGIO			MODELLAZIONE				SIMULAZIONE
OGGETTIVO	SOGGETTIVO	TEMPO DI RISOLUZIONE	IMPLICITI STOCASTICI	ESPLICITI DINAMICI	ORIZZONTE DI PREVISIONE	SUPPORTO DATA-MINING	(RISULTATI)
dati reali						No	
monitoraggio per sensori	NO	1 anno	Analisi statistica			No	
Sensori T, UR, CO2	Sondaggi	1 anno	Analisi punto di cambio			No	Un'accuratezza del 90%
Sensori interruttore a lamella	Sondaggi	1 anno	Analisi del punto di cambio			No	Un'accuratezza del 97%
						No	
		1 anno campionamento 15 minuti	Regressione lineare	Programmazione dinamica	5 anni	No	
	Questionari			Modello Agent-based	1gg se problemi <5, più giorni per altro	No	30% soddisfazione 97% efficienza energetica
Accelerometro Magnetometro			Regressione logistica			No	errore < 1,5 metri nel 99,9% viaggi ascensore

**Tabella 1.3 Sintesi degli articoli esaminati**



## 1.7 Cosa manca nello stato dell'arte

Dopo un'attenta analisi degli articoli di letteratura, siamo stati in grado di evidenziare le carenze e i punti deboli degli studi esaminati al fine di prefissare un obiettivo del lavoro di tesi. Tale obiettivo potrebbe essere visto come un completamento degli argomenti già trattati o comunque un contributo per migliorare ciò che è già stato investigato e sperimentato.

L'interesse di questo lavoro di tesi è incentrato sullo studio del comportamento degli occupanti finalizzato alla gestione e all'ottimizzazione delle attività manutentive all'interno degli edifici.

Sia dalla normativa vigente che dalla letteratura è stato riscontrato un carente utilizzo delle informazioni derivanti dalle azioni umane in campo manutentivo.

Il coinvolgimento delle nozioni ottenute dal comportamento degli utenti all'interno degli edifici viene trattato negli studi su:

- prestazioni negli edifici: risparmio energetico;
- valutazione del disagio/soddisfazione utenti causato dalla regolazione della temperatura negli ambienti interni.

Inoltre, la modellazione e la successiva simulazione del comportamento degli occupanti sono state realizzate soffermando l'attenzione su dati acquisiti dall'occupazione e non dal movimento delle persone negli ambienti interni. Infatti è emerso che i flussi delle persone non sono stati argomento di studio soprattutto se si parla di processi di manutenzione.

La seguente **Tabella 1.4.** è stata d'aiuto per una sintesi sulle considerazioni appena fatte.

<i>ARTICOLO</i>	<i>MOVIMENTO DELLE PERSONE</i>	<i>OCCUPAZIONE DELLE PERSONE</i>	<i>CONNESSO ALLA MANUTENZIONE</i>	<i>PERCHE' UTILIZZARE IL MODELLO</i>
Sulle metriche delle prestazioni degli edifici incentrate sugli occupanti		Rilevamento presenza	<b>NO</b>	
Monitoraggio del comportamento degli occupanti interni con l'uso di una telecamera di registrazione della profondità	SI		<b>NO</b>	
Rilevamento di azioni degli occupanti negli edifici attraverso l'analisi del punto di cambiamento delle misure in situ	Rilevamento azioni (come aprire e chiudere una finestra) attraverso sensori di CO2, temperatura e umidità		<b>NO</b> ma sulla prestazione energetica	Accuratezza del 97% nel rilevare l'apertura della finestra
Un'ontologia per rappresentare il comportamento degli occupanti legati all'energia negli edifici. Parte I: Introduzione alla struttura del DNA		Occupazione dello spazio		
Modellazione del comportamento degli occupanti per la simulazione delle prestazioni degli edifici: stato attuale e sfide future	Monitoraggio azioni adattive	Occupazione e numero di occupanti perchè influisce sul comportamento	<b>NO</b>	
Manutenzione predittiva basata su modelli nei sistemi di automazione degli edifici con disagio dell'utente		Occupazione	Disagio influisce sulla manutenzione della caldaia	
Una struttura di pianificazione della manutenzione basata sull'agente e basata sull'energia per migliorare la soddisfazione degli occupanti	Non viene monitorato il movimento delle persone		SI	Livello di soddisfazione degli occupanti maggiore del 30%

**Tabella 1.4 sintesi di cosa manca nello stato dell'arte**

## 2 Capitolo 2: Fasi del lavoro, strumenti e metodi

Il seguente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di sviluppare di un sistema che permetta di comprendere come gli utenti usufruiscono degli ambienti interni agli edifici e considerare se i flussi delle persone siano significativi ai fini delle attività manutentive.

Per delineare una pianificazione efficiente della manutenzione, si è posto alla base dello studio il monitoraggio dell'utilizzo di determinati elementi tecnologici, quali scale interne e ascensori, ritenuti indispensabili per la valutazione degli spostamenti delle persone in edifici a più piani.

Unica fonte da cui partire per stilare una percentuale di utilizzo dei vari collegamenti verticali e del livello di occupazione degli ambienti, è stata l'analisi dei dati acquisiti nelle prove di monitoraggio nel caso studio.

Nello specifico vengono di seguito trattati gli step effettuati per giungere ai risultati desiderati. In particolar modo gli strumenti utilizzati nei test e per ognuno di essi le procedure per l'esecuzione dei singoli test.

➤ Prima fase: Modello comportamentale:

si è scelto di utilizzare la modellazione Agent-Based che è senza dubbio il sistema attualmente più utilizzato per simulare il comportamento negli spazi di un edificio. In sintesi, i singoli comportamenti sono stati organizzati secondo uno schema logico, di tipo grafico che ne permette, la correlazione stabilendo in tal modo un sistema complesso di connessioni. L'agente infatti si trova a svolgere determinate azioni in relazione all'ambiente in cui si trova inserito, ma anche alla presenza degli altri agenti. Lo spazio ambiente conterrà quindi tutti gli elementi capaci di influenzare le scelte e perciò gli obiettivi del soggetto.

➤ Seconda fase: Definizione degli strumenti per la progettazione

➤ Terza fase: Applicazione degli strumenti ad un caso studio: dopo aver inquadrato l'oggetto cardine su cui vertono i monitoraggi del caso studio, questa fase risulta divisa in due sotto fasi che interessano:

- la verifica della buona riuscita del monitoraggio del comportamento statico, esaminata tramite la prova del monitoraggio del livello di occupazione;

- la verifica della buona riuscita del monitoraggio del comportamento dinamico, esplicitata tramite la prova sui rilevamenti dei flussi delle persone.

### 2.1.1 Modello teorico comportamentale

Ci siamo interessati al modello ad agenti, legato al movimento delle persone, per poi modificarli al fine di rappresentare la fruizione normale degli ambienti e di conseguenza avere delle informazioni utili per i processi manutentivi di alcuni elementi tecnici, in particolar modo dei collegamenti legati ai flussi degli utenti. È stato possibile interessarci a tale obiettivo, perché nell'inquadramento generale delle problematiche riguardanti i processi manutentivi è risultato significativo considerare i flussi delle persone ai fini della ricerca sulla manutenzione. Al centro del lavoro di tesi, indipendentemente dell'utilizzo che se ne può fare dei dati raccolti nel caso studio, c'è l'osservazione di una singola persona, le sue proprietà, soprattutto le regole di comportamento in relazione all'ambiente e di interazione con gli altri utenti. È stato, quindi, necessario far riferimento a un modello di rappresentazione che avesse queste stesse caratteristiche: il modello Agent-Based.

### 2.1.2 Il ruolo dell'agente ed il suo comportamento nell'Agent-Based Modelling

A causa dell'elevato numero di ricerche nel campo della modellazione basata su agenti, delle loro differenti tipologie, dei loro differenti obiettivi e soprattutto dei loro campi di applicazione estremamente diversi, si può facilmente comprendere come, allo stato attuale, non vi sia una definizione universale e univoca associata al concetto di "agente". Secondo Casti e Bonabeau (John 1997) (Bonabeau 2002), un agente si può definire come un entità che ha un certo grado di autonomia ed è in grado di comprendere lo stato dell'ambiente/sistema che lo circonda, sviluppare un processo decisionale più o meno complesso, e adattare il proprio comportamento o le proprie azioni in funzione dello stato del contesto.

Ad ogni modo, in ciascuna delle differenti definizioni di agente riscontrate in letteratura, l'elemento fondamentale e caratterizzante è la capacità di compiere azioni e prendere

decisioni in modo autonomo e indipendente; in prima istanza, gli agenti sono entità non passive, ma componenti attive nel modello.

Si può formalizzare una struttura dell'entità dell'agente che si costituisce di questi elementi principali (A Fioravanti 2012):

- *Sistema di identificazione sia come entità sia come classe d'appartenenza:* un'agente deve essere identificabile in modo univoco all'interno del sistema e distinguibile dalle altre entità che compongono il sistema o da altri agenti. Un sistema d'identificazione deve anche permettere l'identificazione della classe d'appartenenza dell'agente al fine di ricostruire la struttura delle classi di livello superiore da cui è derivato, ricostruendo nel percorso inverso la struttura della tassonomia. Questa ricostruzione dell'albero tassonomico è essenziale per derivare le proprietà e le regole comportamentali che l'agente eredita dalle classi superiori;
- *Attributi:* un sistema strutturato di attributi rappresenta tutte le caratteristiche/proprietà necessarie per la rappresentazione adeguata dell'agente e, a ciascuno di essi, è associato un valore (per esempio numeri, stringhe, algoritmi, procedure, link ad altri oggetti). Questi valori possono essere fissati a priori andando a definire parametri non soggetti a cambiamento durante la simulazione, o possono essere calcolati e inseriti attraverso algoritmi o interrogazioni di altri elementi del modello. Naturalmente le proprietà che vengono rappresentate sono legate all'obiettivo del modello e della successiva simulazione;
- *Status:* come definito dal Merriam-Webster (Merriam-Webster 2011), rappresenta uno "stato o condizione rispetto ad alcune circostanze"; in queste tipologie di modellazione, esso corrisponde ad un insieme strutturato di attributi, valori e relazioni al fine di rappresentare un particolare stato dell'agente in diretta dipendenza dal contesto inteso come modello, tempo ed eventi che accadono durante la simulazione. Uno status può essere definito in modo implicito da una serie di valori associati e determinati attributi, o esplicitato, in questo caso, andando a fissare a posteriori alcuni valori degli attributi sulla base dello status dichiarato;
- *Goals:* ogni agente collocato in un modello ha la necessità di avere degli obiettivi espliciti verso cui orientare il proprio comportamento. I goals possono essere

relativamente semplici o strutturati su più livelli al fine di garantire una rappresentazione più realistica ed affidabile del sistema. Durante l'evoluzione temporale della simulazione, i goals per un'agente possono variare in funzione delle dinamiche del modello o semplicemente secondo la volontà dell'utente della simulazione. Un goal rappresenta per un agente una discriminante nel processo decisionale, un elemento con cui confrontare le differenti scelte e scegliere quella che maggiormente si avvicina al suo raggiungimento. L'assenza di un obiettivo rende l'agente passivo ed incapace di scegliere, rendendo pressoché inapplicabile la simulazione del modello;

- *domini di interazione*: l'agente-utente nel momento in cui va a popolare il modello e compie delle azioni, interagisce con le entità che compongono l'ambiente che lo circonda o con altri agenti presenti; queste interazioni possono essere istantanee o continue ma hanno tuttavia necessità di una attivazione quando le due entità interagenti si trovano a una determinata distanza. Per dominio di interazione si intende appunto il luogo geometrico dei punti che circondano l'agente nei quali è prevista l'attivazione di un determinato tipo di interazione. Questa definizione implica la coesistenza di diversi domini di interazione in relazione alle diverse modalità di interazione dell'agente con le entità che lo circondano e del suo differente status (ad esempio un uomo in fuga avrà domini di interazione con gli altri agenti diversi rispetto a quello in situazioni di normalità);
- *Insieme di behavioural rules*: queste regole, generate da combinazioni di algoritmi abbastanza semplici, sono gerarchicamente strutturate su più livelli e collegate tra loro al fine di rappresentare attraverso una sequenza di azioni semplici e decisioni delle attività anche molto complesse, nonché le interazioni con le entità circostanti. L'uso di tecniche e metodologie dell'Intelligenza Artificiale permette di costruire dei sistemi di regole comportamentali relativamente semplici ma in grado di generare comportamenti globali dell'agente anche molto complessi.

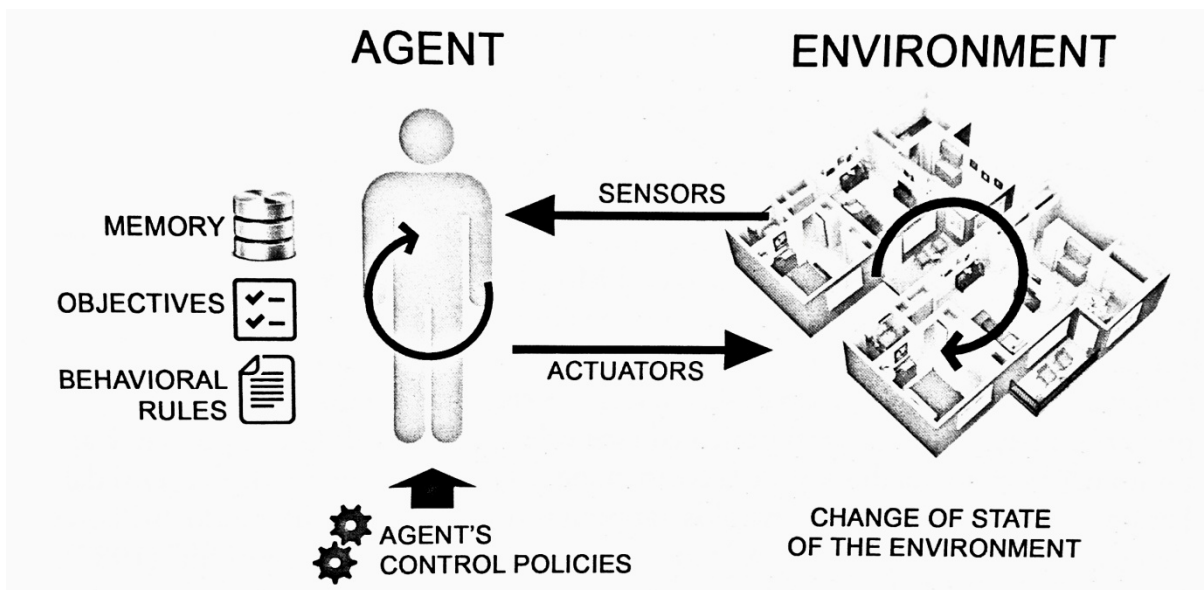


Figura 2.1 Il ciclo di percezione-azione dell'agente. Ad ogni istante l'agente percepisce l'ambiente, elabora delle decisioni e compie delle azioni che influenzano lo status dell'ambiente.

### 2.1.3 Attuali approcci e applicazioni nell'edilizia della modellazione del comportamento umano

Il comportamento degli utenti è uno degli elementi chiave da valutare nella predizione delle performance di un edificio. Il concetto di performance è naturalmente non legato solo alla prestazione energetica o al comportamento strutturale dell'edificio, ma è qualcosa di ben più ampio che comprende il grado di soddisfacimento dei bisogni dei futuri utenti, la capacità di un edificio di supportare le loro attività e stimolare di nuove. Le iniziali ricerche orientate alla costruzione di un modello universale di utente e del suo comportamento hanno progressivamente lasciato spazio a modelli riferiti a specifici domini applicativi e a limitati scenari di utilizzo. Da un lato l'eccessiva complessità del comportamento umano ed il fatto che ampie aree di tale fenomeno siano inesplorate o non adeguatamente rappresentate da modelli, e dall'altro la maggiore gestibilità di modelli in cui il comportamento umano sia ricondotto a pochi parametri salienti, sono da considerarsi come due fattori principali di questo graduale spostamento degli obiettivi di ricerca (Simeone 2015).

Si può affermare senza dubbio che la modellazione Agent- Based svolga un ruolo predominante in tali modelli grazie alla sua ottima risposta nel modellare sistemi di controllo intelligente e già molte ricerche hanno mostrato come il funzionamento di un

edificio possa essere previsto dal mapping del comportamento di molteplici agenti (Zimmermann 2007).

Il fenomeno del comportamento umano negli edifici ed in particolare il movimento delle persone al suo interno sono stati studiati sin dagli anni 50 attraverso modelli basati sulla fluidodinamica Newtoniana. Con l'avvento della computazione digitale, tre principali tipologie di modelli sono andate progressivamente delineandosi (Tabak, Vries, and Dijkstra 2004):

- *Modelli ad Automi Cellulari*: utilizzati per rappresentare processi discreti in spazio e tempo, si basano su una rappresentazione dello spazio attraverso un reticolo ordinato di celle con stati locali, soggette a un sistema uniforme di regole, che guidano il comportamento del sistema;
- *Campi di forze sociali*: rivolgono l'attenzione al modo in cui l'azione di ciascun individuo, il quale è soggetto all'influenza di diversi fattori, può significativamente cambiare nell'insieme il comportamento della folla; in particolare si ipotizza che ogni agente, cioè il pedone, dotato di una massa e di una velocità di spostamento, sia soggetto a campi di forze, sociali e fisiche, che ne regolano e influenzano il movimento (Bernardini 2011);
- *Modelli basati su agenti (ABM)*.

Il paradigma della modellazione basata sugli agenti, con il suo carattere evolutivo, sta ormai soppiantando gli altri tipi di modellazione per la sua accuratezza e soprattutto per la sua gestibilità di sistemi e processi complessi quali ad esempio il comportamento umano in un edificio e, più in generale, il suo funzionamento.

Nel 2001 Batty ha esplicitato gli elementi che favoriscono lo sviluppo di un approccio Agent-Based alla simulazione del comportamento umano nei seguenti punti (Wei 2005):

- La programmazione informatica si è gradualmente spostata verso un approccio orientato agli oggetti, dove anche gli eventi e artefatti sono trattati come classi il cui comportamento può essere simulato in modo esplicito;
- La crescente disponibilità dei dati legati al comportamento umano, alla collocazione spaziale, alla disposizione di attività, ai flussi delle persone derivate da varie sorgenti come i progetti di Post-Occupancy Evaluation;
- Il fatto che la potenza del computer continui a raddoppiarsi secondo la legge di Moore: il raddoppio dei transistor ogni 18 mesi. Questo rende sempre più fattibile e conveniente l'implementazione dei modelli Agent-Based;



- I nuovi modi di modellare i sistemi sociali attraverso l'utilizzo di teorie della complessità che sono state sviluppate negli ultimi anni (ad esempio Gilbert e Doran, 1994).

## 2.1.4 Traduzione operativa del modello

Per il supporto al software di simulazione vengono creati dei modelli concettuali secondo un linguaggio di modellazione visuale. Per il seguente lavoro di tesi non è stato utilizzato nessun supporto di simulazione, ciò nonostante è risultato comunque utile creare una modello di rappresentazione al fine di visualizzare la modellazione ad agenti del caso studio.

Gli elementi base del modello di rappresentazione sono (figura 7):

- Agent (agente): definibile come entità che hanno intenzionalità e obiettivi strategici da perseguire. Ciò avviene attraverso l'utilizzo di risorse, lo svolgimento di attività e il rispetto di opportune dipendenze;
- Goal (obiettivo logico): è l'obiettivo dell'agente ed è caratterizzato da un criterio di soddisfacimento ben preciso: può essere completato oppure no, non ammettendo altre possibilità. Può esistere una serie di obiettivi intermedi, chiamati "softgoal";
- Task (attività): sono le vere e proprie operazioni che l'agente svolge per soddisfare la necessità di raggiungere l'obiettivo, sfruttando le informazioni fornite dalle dalle risorse che può utilizzare;
- Resource (risorsa): entità contenente informazioni utili all'agente per compiere le sue attività (task) in maniera tale da soddisfare i suoi obiettivi;
- Dependency (delega): connessione logica tra i blocchi di goal o "softgoal", risorsa e attività.

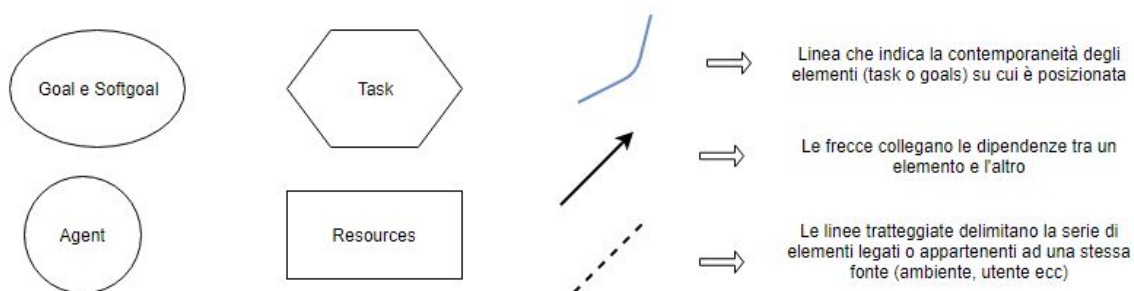


Figura 2.2 Elementi che compongono il modello di rappresentazione secondo la logica Agent-based

## 2.2 Materiali e Strumenti

Gli strumenti che si sono resi necessari in questo lavoro di tesi sono:

- Dispositivi Beacon
- Smartphone e devices che supportano sistemi operativi Android
- Tecnologia Eye-Tracking

### 2.2.1 Dispositivi Beacon

La tecnologia Beacon è basata sul Bluetooth e consente ai dispositivi di trasmettere e ricevere segnali entro distanze più o meno lunghe, a seconda della potenza con cui si imposta. Alcuni esempi, in Italia, di luoghi che sono stati attrezzati con i beacon, sono la Reggia di Venaria e il Museo del Risorgimento di Torino ([torino.diariodelweb.it](http://torino.diariodelweb.it) s.d.). In questi due casi, lo scopo è soprattutto informativo: tramite un'App da scaricare, viene raccontato al visitatore cosa sta vedendo davanti ai propri occhi ([piemonte.abbonamentomusei.it](http://piemonte.abbonamentomusei.it) s.d.).

Il funzionamento è garantito per mezzo di: un trasmettitore (in questo caso è un dispositivo beacon, ma può trattarsi di un dongle Bluetooth Usb, un computer compatibile con Bluetooth Low Energy (BLE), uno smartphone o un tablet) e un ricevitore (che normalmente è un'App per smartphone). Il trasmettitore invia in un intervallo di tempo prestabilito (in genere frazioni di secondo) un messaggio dove indica il suo identificativo e la relativa posizione, mentre il ricevitore, rilevando il sensore beacon, agisce in base a come è stato impostato. La parte trasmittente spedisce soltanto informazioni. L'informazione standard dei beacon consiste in un UUID, e un valore major e minor ([developer.estimote.com](http://developer.estimote.com) s.d.).

Per esempio:

- UUID: B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D
- Major ID: 123456; Minor ID: 234567

Le caratteristiche tecniche dei beacon Estimote sono:

- hanno l'involucro esterno di silicone resistente all'acqua;
- il dispositivo è dotato di una CPU a 32Bit ARM Cortex con 256kb di memoria flash e un dispositivo Bluetooth a 2.4Ghz. Il segnale emesso ha un raggio d'azione fino a 70m;

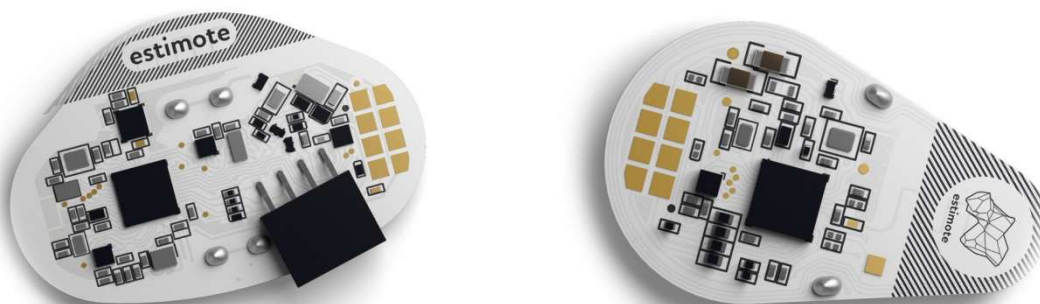
- è dotato di una batteria al litio 620mAh in grado di garantire il funzionamento del dispositivo per 2 anni;
- nella parte posteriore presenta un adesivo in grado di consentire il fissaggio del dispositivo a qualsiasi tipo di superficie senza problemi di distacco dalla stessa.



**Figura 2.3 Beacon del produttore Estimote**

Ogni beacon della Estimote possiede:

- 32-bit, 64 MHz ARM® CPU a basso consumo
- 512 KB Flash memory per salvare apps (del produttore) e dati
- 64 KB RAM per utilizzare le apps durante il funzionamento
- Un'antenna Bluetooth e un chip per comunicare con gli altri dispositivi e con gli altri beacon.



**Figura 2.4 Modulo interno del beacon**

La grande differenza dei beacon rispetto agli altri dispositivi è la durata della batteria. Infatti, mentre un computer desktop deve essere costantemente collegato alla corrente, e un laptop o uno smartphone va ricaricato ogni giorno, i beacon sono generalmente ottimizzati per far durare la batteria per mesi o anni.

I beacon non utilizzano il bluetooth nel senso classico di “pairing - abbinamento” o “connecting - connessione” come potrebbe essere per un dispositivo in input (mouse, tastiera, ecc.), essi invece fanno uso di ciò che nelle specifiche della tecnologia Bluetooth è chiamata “undirected advertising”, che può essere tradotto come “pubblicità non orientata”. Questo significa che un beacon trasmette i suoi dati nell’ambiente circostante, e che non deve esserci per forza un dispositivo ricevente nei dintorni per farlo funzionare. Tuttavia, ogni dispositivo BLE nel range, come ad esempio uno smartphone, può fare uno scan per intercettare questi segnali. Non sono necessari né abbinamento né connessione (developer.estimote.com s.d.).

Inoltre non c’è limite su quanti dispositivi possano intercettare il segnale del beacon.

Il dipartimento DICEA dell’UNIVPM ha messo a disposizione 12 beacon per questo lavoro di tesi.

#### 2.2.1.1 Range del segnale BLE e distanza stimata

Il segnale BLE è un’onda radio da 2.4 GHz che il beacon trasmette con una certa potenza, detta Tx (Transmit) Power. La potenza dell’onda radio diminuisce man mano che ci si allontana dal beacon. Il ricevitore BLE cerca l’onda radio con la sua antenna e prova a convertirla e rispedirla indietro come dato utilizzabile. Più il segnale diventa debole, più la probabilità di decifrare il dato diminuisce. Ad un certo punto, quando la perdita di pacchetti raggiunge determinati livelli, si è raggiunto il range massimo del segnale.

La potenza del segnale ricevuto è conosciuta come RSSI e diminuisce con la distanza. Se si conosce il valore RSSI e la potenza standard in un punto molto vicino al beacon, si può approssimare la distanza percorsa dal segnale. La distanza è molto più accurata tanto più si è vicini al beacon. Sul sito del produttore (developer.estimote.com s.d.) viene specificato che la precisione è massima fino a 10m di range, e diminuisce gradualmente fino a 70m.

Sia il range massimo che la stima delle distanze sono influenzate da:

- Sensibilità, posizione dell’antenna e polarizzazione del ricevitore

- Ambiente: le onde radio BLE possono rimbalzare su pareti e oggetti, parte della loro potenza inoltre può venire assorbita prima che il segnale arrivi al ricevitore. In particolare acqua, metallo e vetro possono generare interferenze.

## 2.2.2 Applicazione i-Beacon & Eddystone Scanner

Si riporta la descrizione dell'app "iBeacon & Eddystone Scanner" nel Google PlayStore, avente attualmente un rate di 4,1/5.

L'app scansiona e mostra i dettagli di ogni singolo iBeacon, Eddystone (UID, URL, TLM) e AltBeacon nelle vicinanze.

Essa mostra le seguenti informazioni principali riguardanti i beacon rilevati:

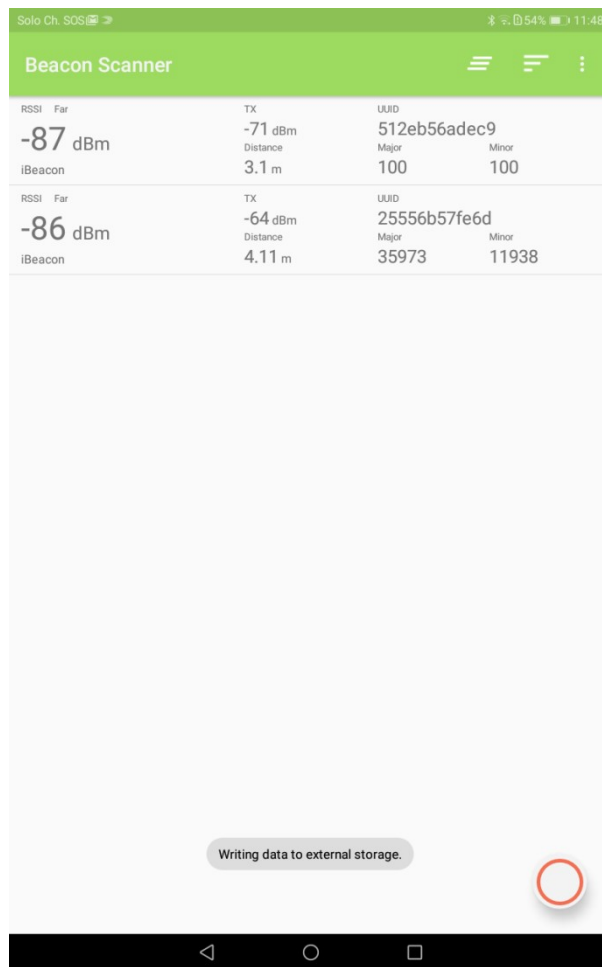
- UUID, valori Minor e Major per iBeacon e Altbeacon
- URL, UID e TLM per Eddystone.
- Un valore di prossimità (immediate, near, far)
- La distanza dal beacon
- Valori TX e RSSI
- Un grafico che mostra i valori RSSI più recenti
- MAC address
- Genera un file CSV locale dove vengono salvati i dati
- Invia i dati a una web API tramite richieste POST

L'app richiede la tecnologia BLE (aka Bluetooth 4.0) integrata nel device e sistema operativo almeno Android 4.3.

Nella figura 8 si può vedere lo screen dell'app in funzione: dopo aver settato le impostazioni corrette l'app genera un file CSV nella memoria locale del dispositivo dove salva le rilevazioni. Il tutorial di come utilizzare l'app è riportato in appendice.

Nella schermata di scansione viene mostrato (figura 8):

- Distanza RSSI
- Modulo del beacon (iBeacon)
- Potenza TX
- Distanza stimata in metri
- UUID del beacon
- Valori Major e Minor



**Figura 2.5** Schermata di scansione dell'applicazione

### 2.2.3 Dispositivo Eye-Tracking

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i Tobii Glasses come strumento mobile di Eye-Tracking per il rilevamento dei tracciati dei movimenti oculari. Tale dispositivo è prodotto da Tobii ed è stato messo a disposizione per questo lavoro dal Dipartimento Dicea dell'UNIVPM.

Sono occhiali da indossare come normali occhiali da vista, e sono collegati via cavo ad un Recording Assistant (Figura 2.7).

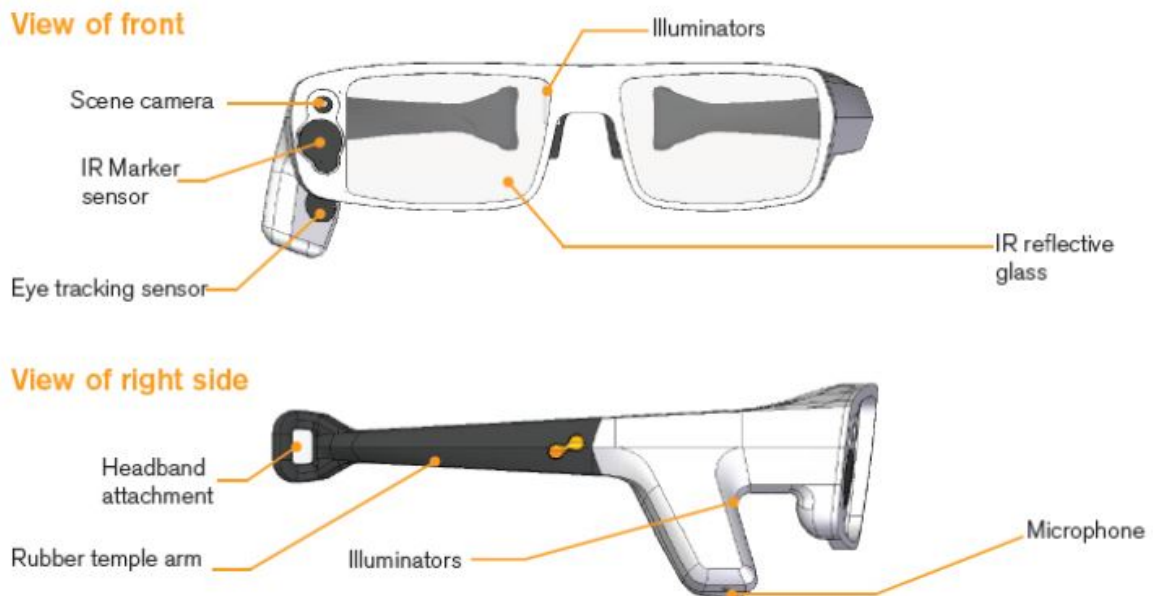


Figura 2.6: Tobii Glasses

Il Recording Assistant (Figura 2.7) registra i dati di Eye-Tracking dagli occhiali, insieme al video della telecamera, i suoni dal microfono integrato e le informazioni sulla posizione dei Marcatori IR (catturata dal sensore IR Marker) in una scheda di memoria.

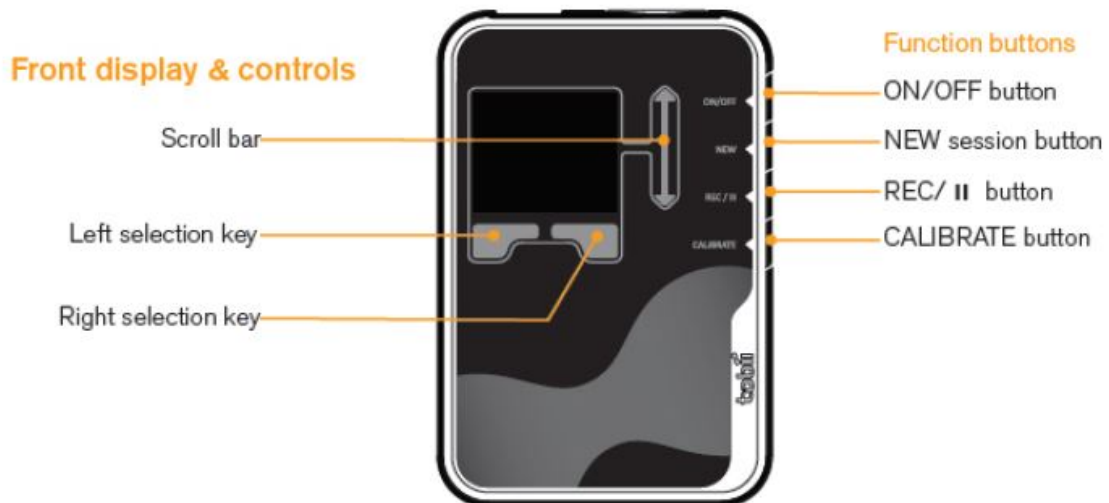
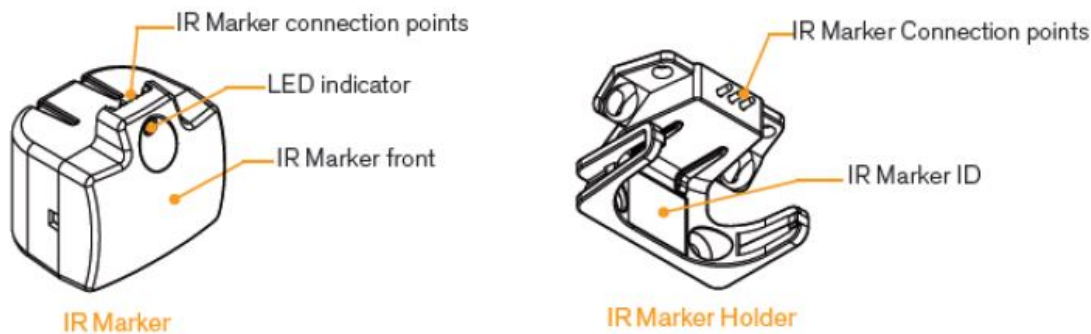


Figura 2.7: Recording Assistant

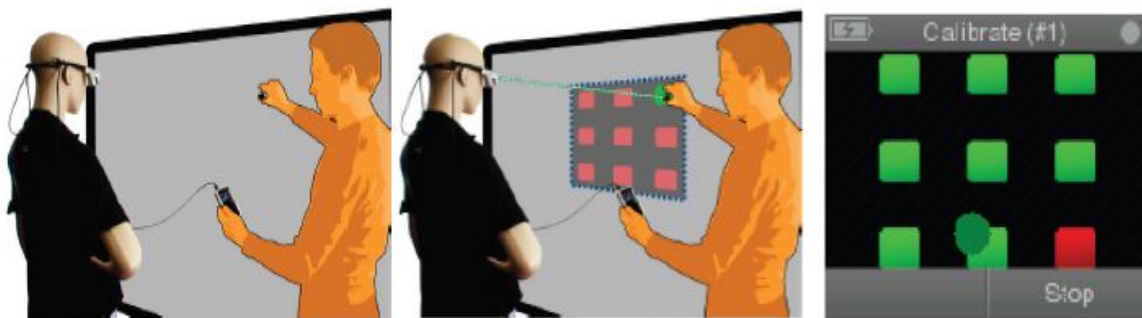
I Marcatori InfraRossi, (Figura 2.8) sono piccoli dispositivi che, collegati a un Supporto, comunicano la loro posizione esatta usando la luce infrarossa.

I Marcatori IR, identificati da un ID univoco, vengono usati per definire le cosiddette Aree di analisi (Areas of Interest, AOI) per l'aggregazione automatica dei dati, grazie alle quali è possibile ottenere effetti grafici e statistiche dai dati di Eye-Tracking raccolti.



**Figura 2.8: Marcatori IR e Supporto**

Un unico Marcatore, senza supporto, viene inoltre utilizzato durante la procedura di calibrazione. La procedura, che consiste nel muovere il Marcatore su un piano in 9 diverse posizioni mentre il soggetto che indossa gli occhiali ne fissa il movimento, serve al dispositivo per identificare correttamente la posizione della pupilla (Figura 2.9).



**Figura 2.9: Fase di calibrazione del dispositivo**

La calibrazione deve essere effettuata all'inizio di ogni registrazione. Al termine di ogni calibrazione, il Recording Assistant fornisce una valutazione di qualità della calibrazione, che va da zero e 5 stelle. Poiché una cattiva calibrazione può compromettere l'elaborazione dei dati in uscita, si cerca di lavorare con una calibrazione valutata almeno pari a 3 stelle.

Il manuale dell'apparecchio (TobiiStudio 3.2, UserManual. 2012) stima che il 95% della popolazione risulti tracciabile con il metodo Eye-Tracking, ed è possibile eseguire i test



su soggetti che indossano lenti a contatto, mentre non è possibile indossare gli occhiali per l'Eye-Tracking sopra i normali occhiali da vista.

La dotazione dello strumento comprende anche una parte software, costituita da Tobii Studio ed Attention Tool, attraverso i quali i dati memorizzati su Recording Assistant possono essere elaborati ed esportati in formato Dati e/o Video. Durante la registrazione infatti, Tobii Eye-Trackers raccoglie dati grezzi (RawData), corrispondenti alle coordinate dei punti per ogni movimento delle pupille, chiamati Gaze Points, ogni 33 ms. Le coordinate di questi punti, vengono elaborate in fissazioni e infine sovrapposte alla registrazione video e audio (insieme anche alle coordinate della posizione dei Marcatori IR) tramite i Software a disposizione.

## 2.3 Applicazione ad un caso reale

Gli elementi cardine su cui si snoda il lavoro di tesi sono i collegamenti verticali, in particolare scale interne ed ascensori. L'accesso alle informazioni sulle modalità di utilizzo dei collegamenti può portare ad una nuova identificazione della qualità degli stessi elementi tecnologici esaminati, al fine di ottimizzare la loro gestione in campo manutentivo.

Nella letteratura esaminata, maggiore interesse è stato rivolto agli ascensori e alle industrie che li producono le quali, per adattare i sistemi di trasporto verticale alle esigenze del futuro, hanno identificato la necessità di passare dalle strategie di manutenzione preventiva e correttiva alle strategie di manutenzione predittiva e preventiva, massimizzando così i tempi di attività, prolungando la durata, riducendo i costi di riparazione, e migliorare la sicurezza dei sistemi di ascensori (Ebeling 2011), (Esteban et al. 2013). Di conseguenza, l'ultima generazione di sistemi di ascensori di fascia alta è spesso collegata al cloud, creando un Internet-of-Elevators, ovvero una suddivisione dell'emergente Internet-of-Things (Xu, He, and Li 2014), in cui i dati dai sensori dell'ascensore e il controllo i sistemi vengono raccolti, estratti e trasformati in informazioni sulle prestazioni dei sistemi di ascensori e su eventuali problemi attuali o potenziali.

Tuttavia, esistono solo poche pubblicazioni sul monitoraggio delle condizioni e sulle tecniche di rilevamento dei guasti per i sistemi di ascensori e componenti dell'elevatore come la macchina di trazione (Niu et al. 2008), le guide (Esteban et al. 2014) , e i sistemi di porte (Yan, Koç, and Lee 2004).

Le tecniche e i sistemi di monitoraggio delle condizioni degli ascensori esistenti possono essere classificati in due categorie, quelli basati sul modello (Esteban et al. 2014) e quelli basati sui dati raccolti (Yan, Koç, and Lee 2004).

Tuttavia, nessuno studio mette in evidenza la correlazione tra utente-collegamento verticale, esplicitando, a tale interesse, informazioni utili per la manutenzione senza ricorrere a sensori e sistemi di controllo collegati direttamente all'ascensore in esame.

L'applicazione al caso studio, valutato con differenti prove di monitoraggio degli utenti, mette in mostra quali sono i collegamenti più utilizzati, e di conseguenza quali di quelli esaminati risulta essere il più sollecitato, durante la normale fruizione degli ambienti da parte degli utenti.

## 2.4 Monitoraggio della fruizione degli ambienti

La prova ha la finalità di comprendere le modalità di fruizione degli ambienti universitari e gli spostamenti all'interno di essi. Si analizza come gli occupanti si muovono dentro la struttura, e come utilizzano le aule didattiche, le aree studio e le parti comuni, grazie ad un monitoraggio dei device individuali con sistema di localizzazione bluetooth anonima.

### 2.4.1 Layout dell'ambiente

Sono stati definiti i nodi a quota 150 e 155 secondo il seguente criterio:

- Nodi A-B-C: collegamenti tra i due piani, rispettivamente (A) ascensore principale, (B) scale principali, (C) gruppo ascensore/scale secondari;
- Nodo 1: punto di passaggio obbligatorio tra due collegamenti a quota 150;
- Nodo 2: punto di passaggio per l'uscita a quota 155;
- Nodo 3-4: zona aule a quota 155, occupata dagli studenti del caso studio durante l'orario delle lezioni.

Nel seguente grafo (figura 2.10) sono stati evidenziati tutti i possibili passaggi da un nodo all'altro.

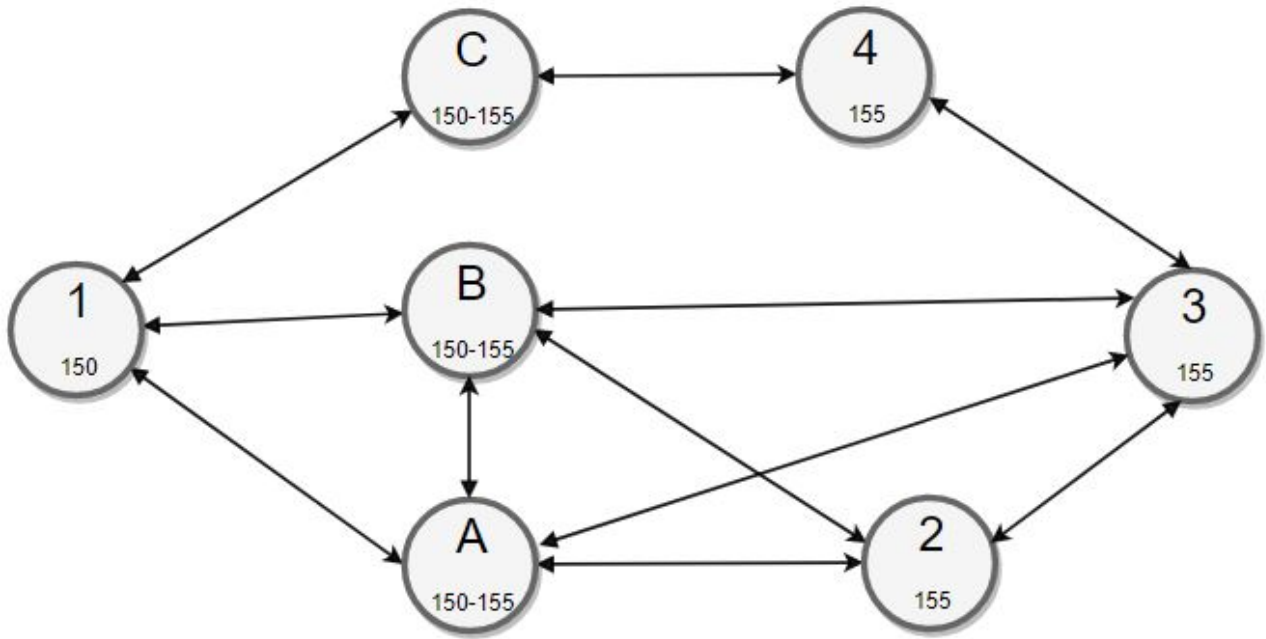


Figura 2.10 - Grafo con nodi e collegamenti

Legenda:

1. Aula magna
2. Banca
3. Aula 155 D1
4. Aula 155 D4
- A. Ascensore principale
- B. Scale principali
- C. Gruppo ascensore/scale secondari

## 2.4.2 Posizionamento dei beacon

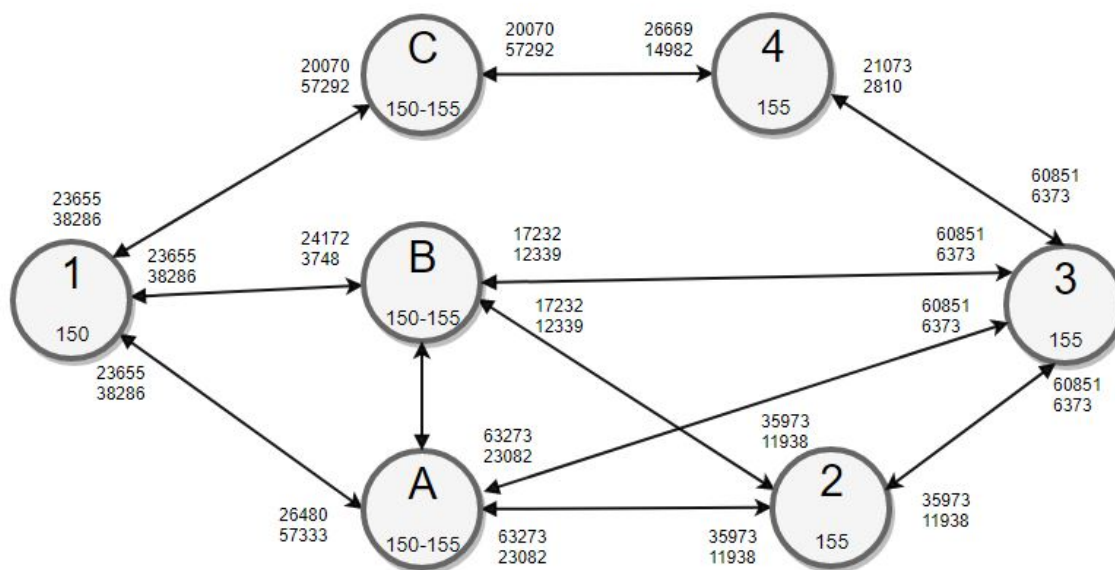
I beacon vengono disposti in modo da monitorare ogni nodo, rispettando le regole prestabilite per il loro funzionamento [paragrafo 2.2.1.].

<b>ELENCO BEACON (Major-Minor)</b>	<b>POSIZIONE BEACON</b>
26669-14982	Aula 155 D4
26480-57333	Ascensore principale 150
63273-23082	Ascensore principale 155
21073-2810	Aula 155 D3
20070-57292	Ascensore secondario 155
24172-3748	Scale principali 150-155
17232-12339	Scale principali 155-160
23655-38286	Aula magna (distributore)
60851-6373	Aula 155 D1
35973-11938	Banca

**Tabella 2.11: Elenco del posizionamento dei beacon**

Il posizionamento interessa due quote della Facoltà di Ingegneria dell'UNIVPM di Ancona: Q150 e Q155.

Seguendo la logica dei nodi riportati nel seguente grafo (figura 2.11) è stato scelto di posizionare i beacon come indicato nelle piante (figura 2.12) e (figura 2.13).



**Figura 2.11 Grafo orientato con beacon, nodi e collegamenti**

In particolare, è stato necessario piazzare i beacon in prossimità di:

- Ascensori e scale, per tracciare gli spostamenti tra le due quote
- Zona aule di Q155, per monitorare la fruizione degli ambienti
- Punto di uscita dall'università a Q155

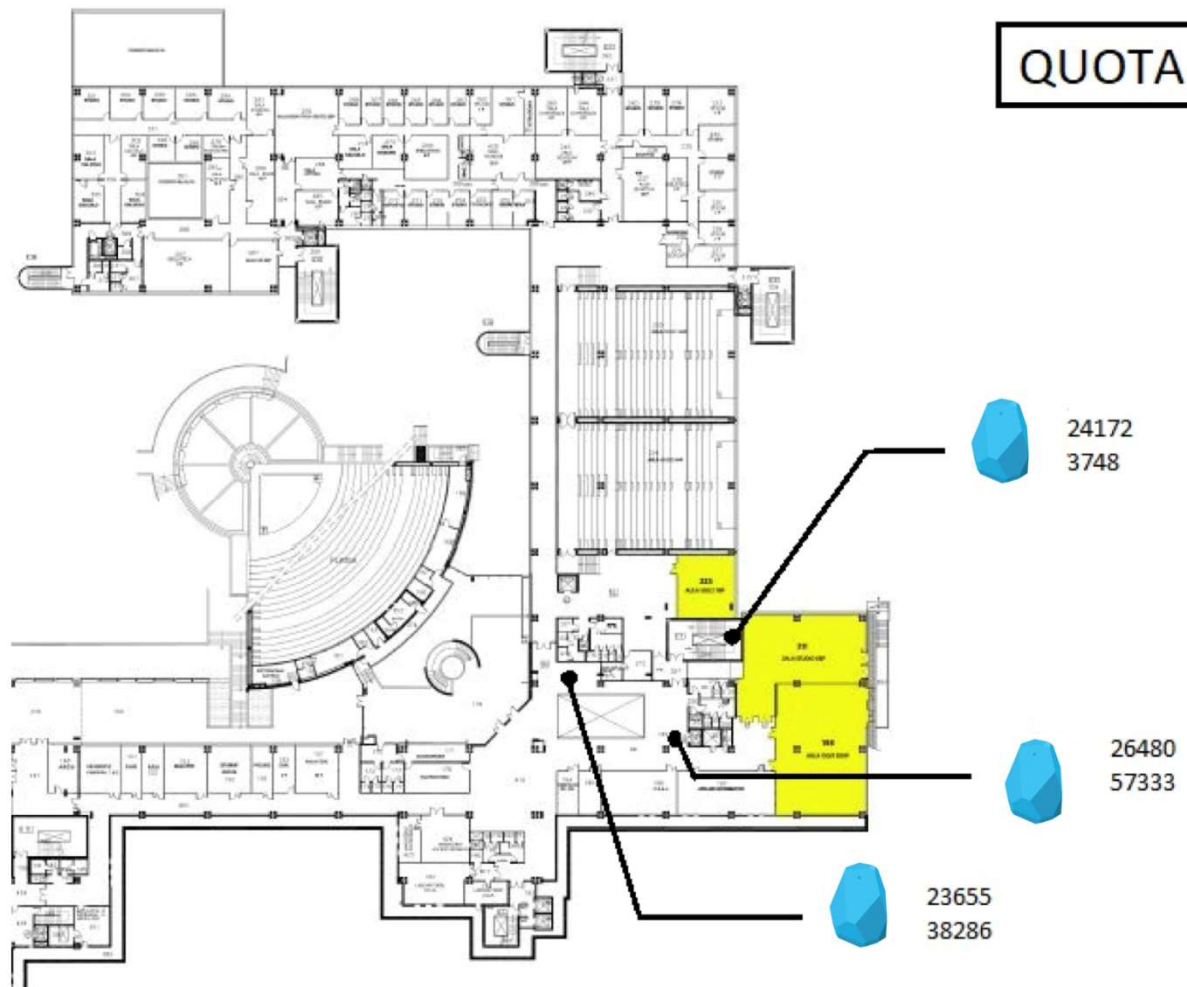


Figura 2.12 Pianta quota 150 - disposizione beacon

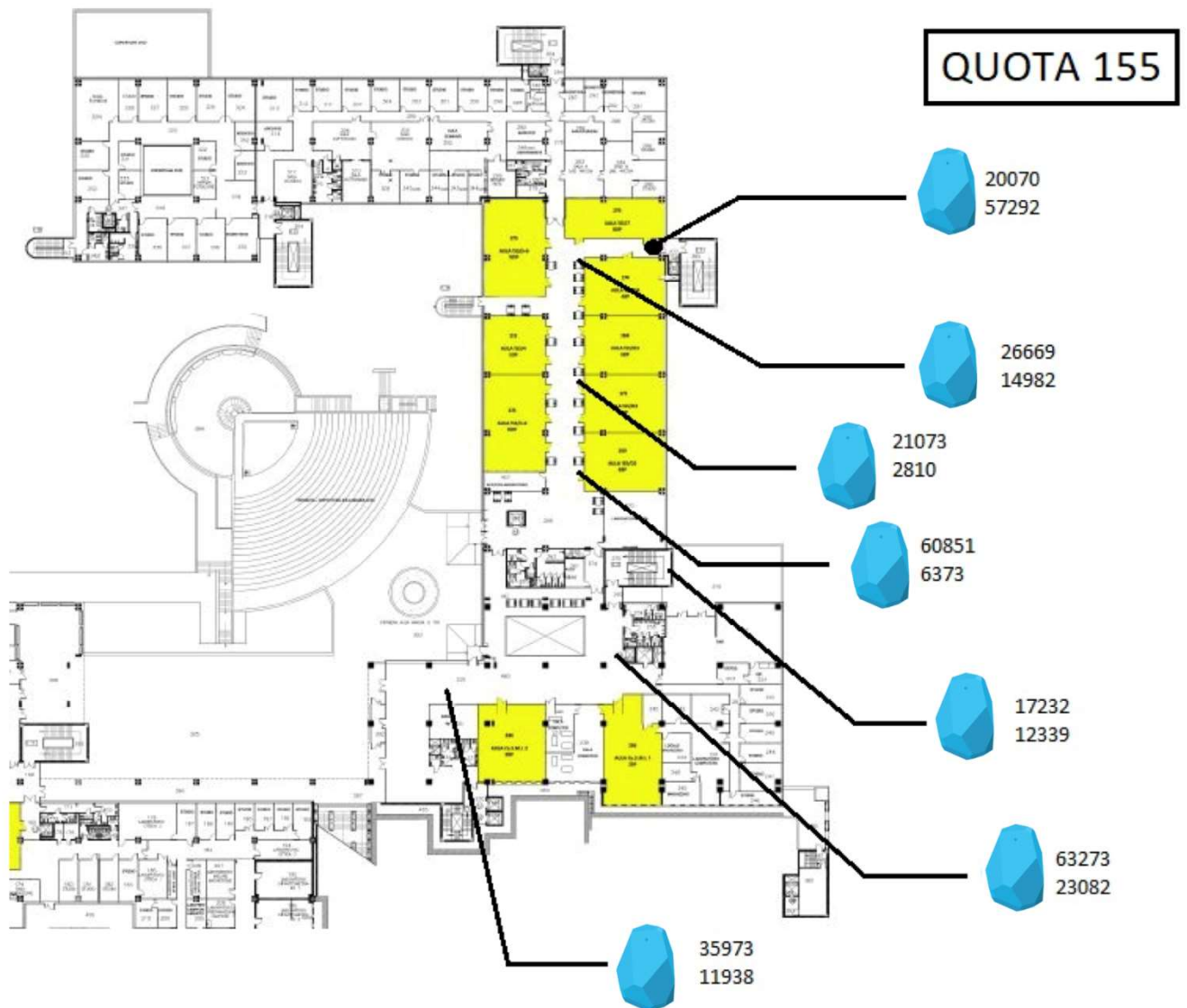


Figura 2.13 Pianta quota 155 - disposizione beacon

### 2.4.3 Modalità di prova

Per adempiere alle finalità della prova, si effettua il tracciamento del moto tramite device individuali propri del partecipante, ad esempio smartphone, utilizzando l'applicazione iBeacon & Eddystone Scanner (reperibile dal PlayStore e totalmente gratuita) per sistema operativo Android, e saranno connessi a dispositivi beacon tramite protocolli di comunicazione bluetooth.

La prova, presso la Facoltà di Ingegneria, ha interessato un arco temporale di due settimane, e le rilevazioni sono avvenute dal Lunedì al Giovedì.

- I partecipanti possono muoversi liberamente (possibilmente a passo lento) nella struttura, alle quote 150 e 155, con il proprio smartphone.

- L'app iBeacon & Eddystone Scanner dovrà essere in funzione per tutto il periodo in cui si desidera utilizzare gli spazi dell'Università. Non deve quindi essere chiusa. Per il corretto funzionamento, è stato fornito un tutorial caricato nella pagina Learn dei Docenti coinvolti.
- È possibile interrompere l'esecuzione dell'app nel caso si voglia rimanere nella stessa posizione per più tempo (es: dentro la stessa aula) ma sarà necessario riavviarla/riaprirla prima di muoversi. Stessa procedura deve essere eseguita nel caso si passi all'uso di altra applicazione. Ad ogni riavvio, l'applicazione accoderà automaticamente i dati registrati.
- Ai partecipanti viene raccomandato di tenere l'app attiva possibilmente per tutto il tempo di permanenza.
- Al termine della prova i partecipanti inviano i dati agli organizzatori e compilano un questionario online in forma anonima (Appendice), dopo aver espresso il consenso alla privacy.

## 2.5 Prova di monitoraggio dei flussi degli occupanti

La prova ha la finalità di comprendere le modalità di fruizione degli ambienti universitari e gli spostamenti all'interno di essi. Si analizza come gli occupanti si muovono dentro la struttura, in modo particolare come usufruiscono dei collegamenti verticali per raggiungere piani limitrofi a quello di partenza. Il monitoraggio è stato eseguito come la prova precedente (paragrafo 2.4), ossia tramite dei devices individuali con sistema di localizzazione bluetooth anonima.

La prova è più dettagliata rispetto alla precedente (paragrafo 2.4), in quanto, prima dell'esecuzione del test, sono state fornite ai partecipanti regole ben precise che permettono di analizzare per certo come e in quali circostanze vengono utilizzate scale ed ascensori. Inoltre, grazie ai questionari anonimi, si riesce a trarre conclusioni sulla fruizione degli ambienti, sulla percorribilità delle aree, sull'individuazione delle zone da raggiungere e soprattutto sulla scelta eseguita, durante i percorsi, tra scale e ascensori e in diversi casi se ne riesce a capire anche il motivo chiaro.

### 2.5.1 Layout dell'ambiente

La prova interessa ben quattro piani del Polo Monte Dago della facoltà di Ingegneria. Sono stati definiti i nodi a quota 145, 150, 155 e 160 secondo il seguente criterio:



- Nodi A: ascensore principale;
- Nodo B: scale principali;
- Nodo E scale secondarie;
- Nodo F: ascensore secondario;
- Nodo D: corridoio 150 tra aula G1 e aula G2;
- Nodo 3: Aula 155 D1;
- Nodo 3-4: zona aule a quota 155, occupata dagli studenti del caso studio durante l'orario delle lezioni;
- Nodo 5: Aula G2, ingresso a quota 145;
- Nodo 6: Ingresso alla facoltà di Ingegneria, in corrispondenza della portineria a quota 160.

In questa prova sono stati differenziati 2 percorsi e ognuno percorribile in due direzioni (verso i piani superiori o verso i piani inferiori):

1. Percorso A1: punto di partenza quota 160 ingresso e punto di arrivo davanti aula G2 quota 145;
2. Percorso A2: punto di partenza quota 145 davanti aula G2 e punto di arrivo quota 160 in corrispondenza della portineria;
3. Percorso B1 punto di partenza davanti aula G2 quota 145 e punto di arrivo davanti aula 155 D1;
4. Percorso B2 punto di partenza davanti aula 155 davanti aula 155 D1 e punto di arrivo davanti aula G2 quota 145.

In base al percorso si è stilato un apposito grafo in cui sono stati riportati tutti i possibili nodi e collegamenti.

Nel seguente grafo (figura 2.14) sono stati evidenziati tutti i possibili passaggi da un nodo all'altro, riguardanti i percorsi A1 e A2.

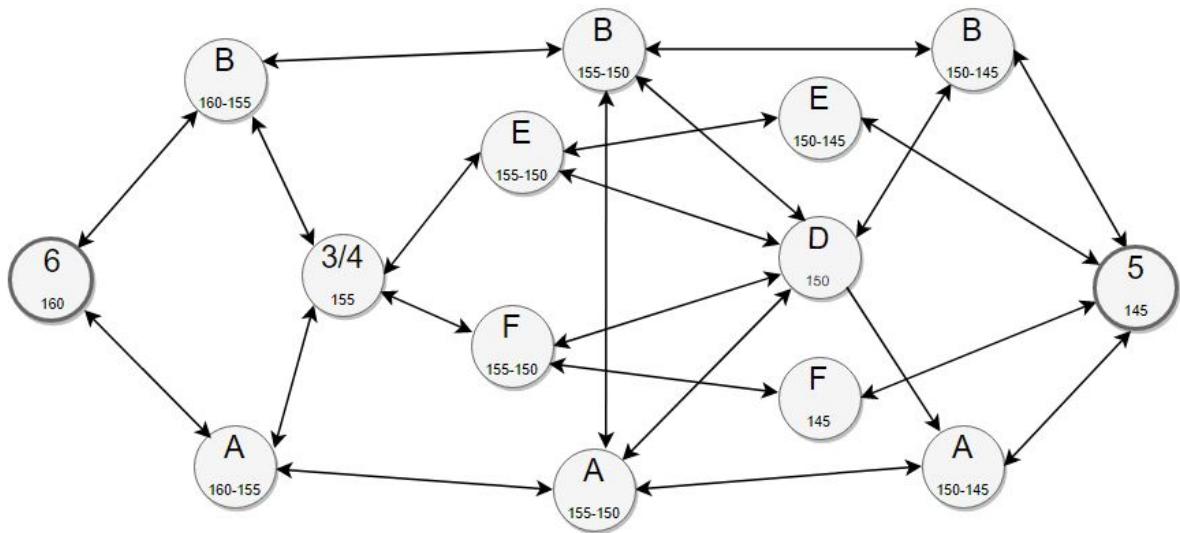


Figura 2.14: Grafo con collegamenti e nodi percorso A1 e A2

Nel seguente grafo (figura 2.15) sono stati evidenziati tutti i possibili passaggi da un nodo all'altro, riguardanti i percorsi B1 e B2.

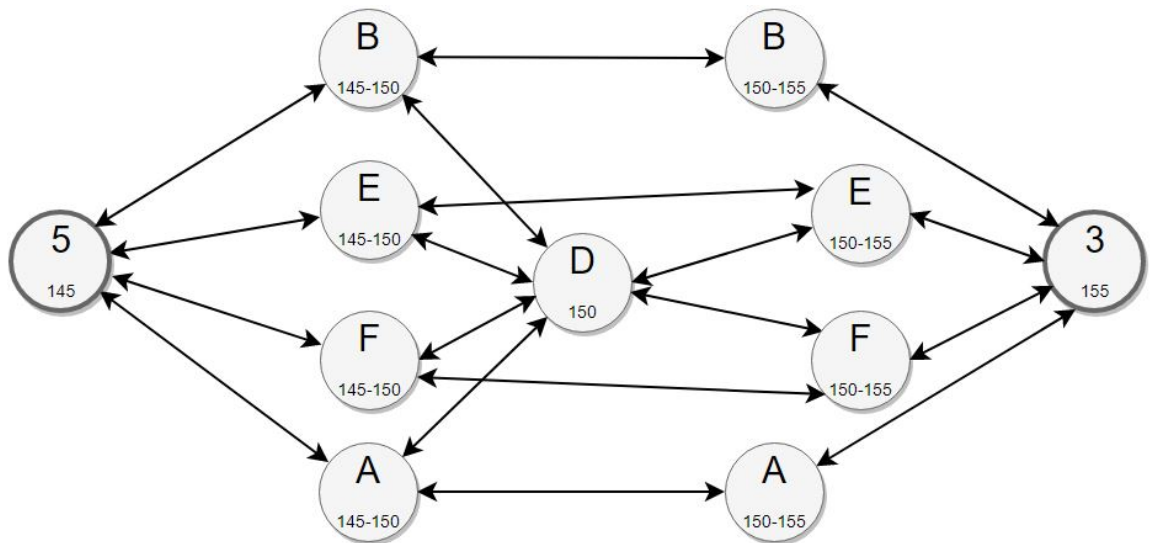


Figura 2.15: Grafo con nodi e collegamenti dei percorsi B1 e B2

## 2.5.2 Posizionamento dei Beacon

I beacon vengono disposti su tutti e quattro i piani, elencati nel paragrafo 2.5.1, seguendo una logica che permette, una volta che si analizzano i file .csv, di tracciare, con un numero minimo di errore, la scelta del percorso eseguita da ogni partecipante.

ELENCO BEACON (Major-Minor)	POSIZIONE BEACON
26669-14982	Ascensore principale 145
26480-57333	Ascensore principale 150
63273-23082	Ascensore principale 155
21073-2810	Ascensore principale 160
20070-57292	Scale principali 145-150
24172-3748	Scale principali 150-155
17232-12339	Scale principali 155-160
23655-38286	Corridoio 150
60851-6373	Aula 155 D4
35973-11938	Scale secondarie 150-155
30711-55981	Ascensore secondario 145
40131-60154	Scale secondarie 145-150

Figura 2.16: Elenco dei beacon

Ogni passaggio del partecipante nelle prossimità di un nodo, necessita della presenza di un minimo di due beacon per essere rilevato.

Per una migliore interpretazione della regola appena citata, vengono mostrati i due grafi di nodi e collegamenti di ogni percorso con le rispettive etichette (major e minor) dei beacon (figura 2.17) e (figura 2.18).

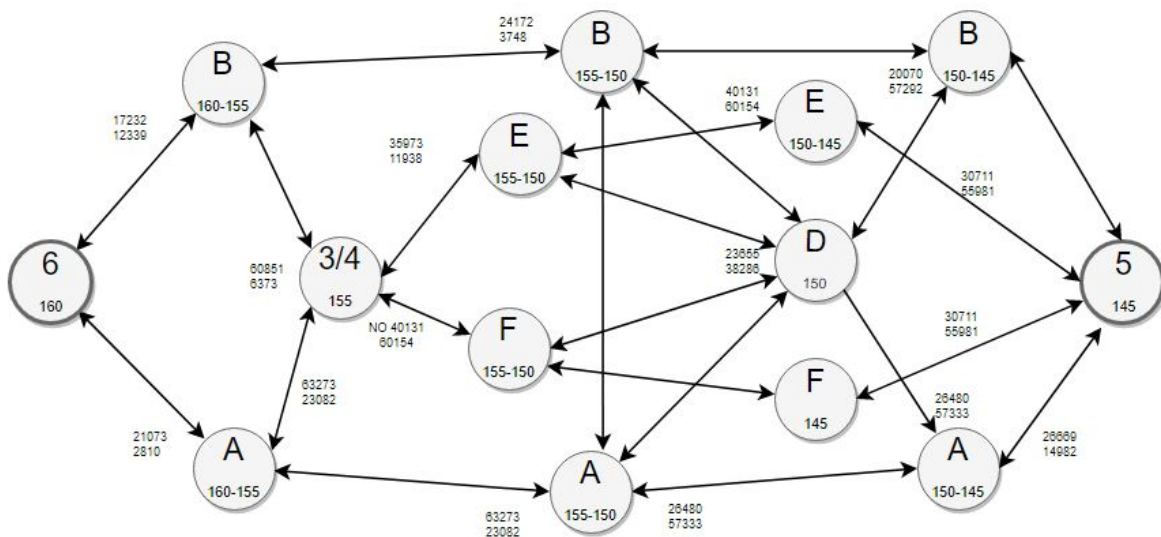


Figura 2.17: Grafo orientato con indicazione dei beacon dei percorsi A1 e A2

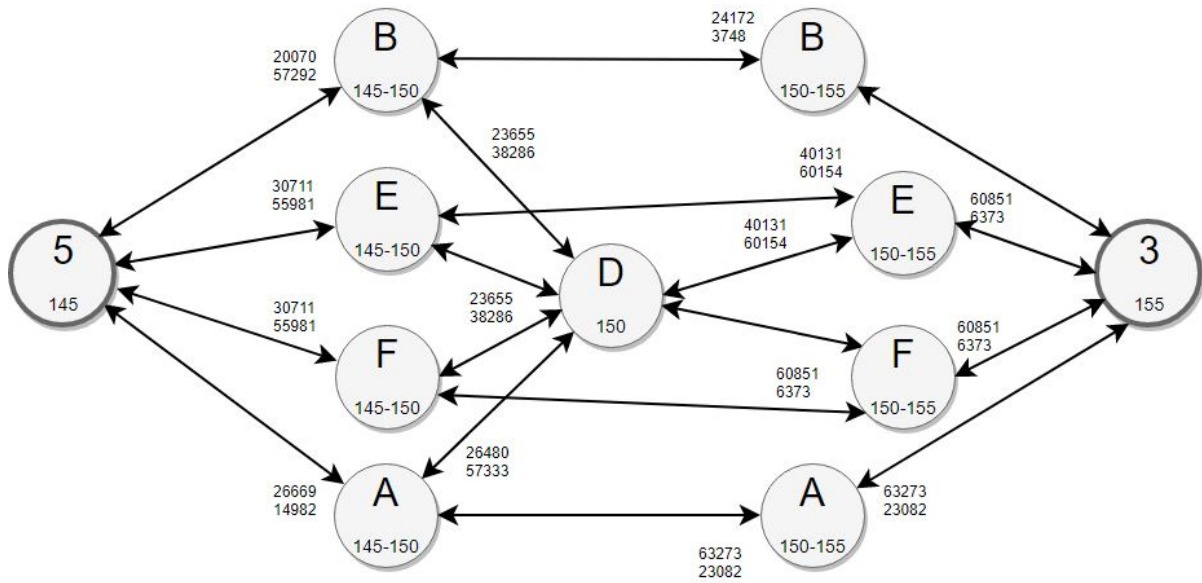


Figura 2.18: Grafo orientato con indicazione dei beacon dei percorsi B1 e B2

Una volta creati i grafi, si è passato al posizionamento effettivo dei beacon lungo i piani interessati dalla prova, così come è riportato nelle piante di figura 2.19, figura 2.20, figura 2.21 e figura 2.22.

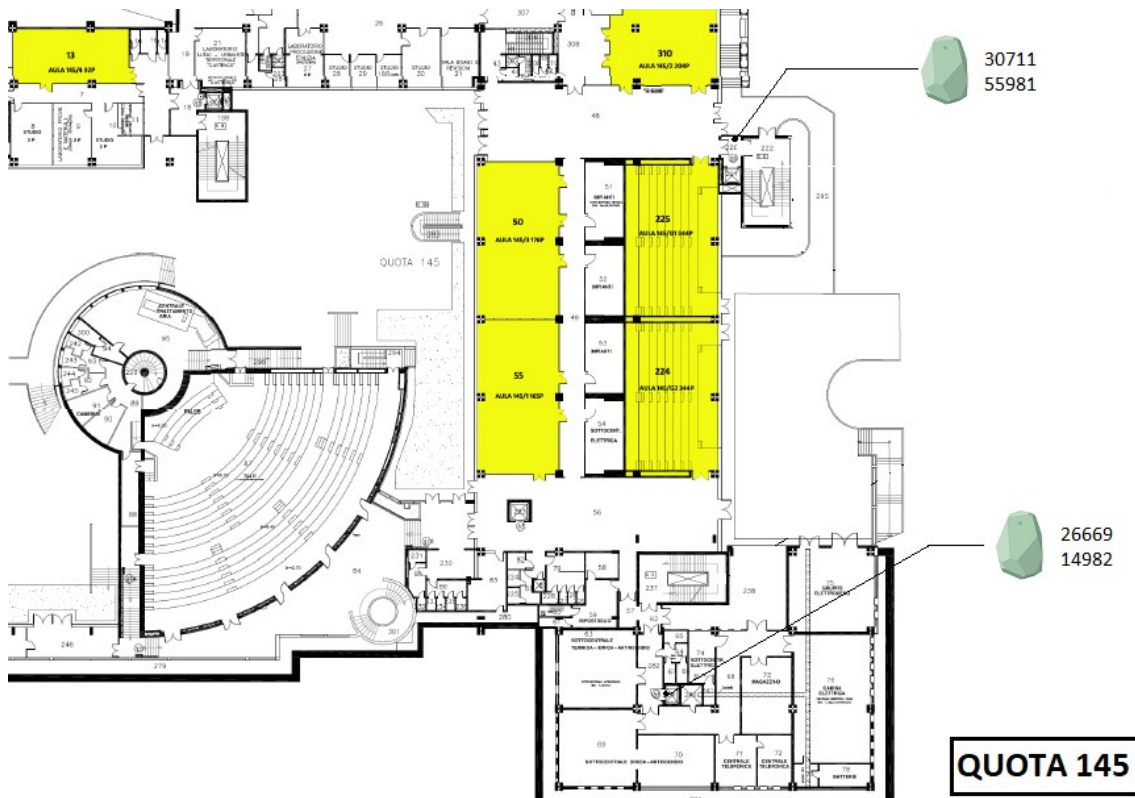


Figura 2.19 Pianta quota 145 disposizione beacon

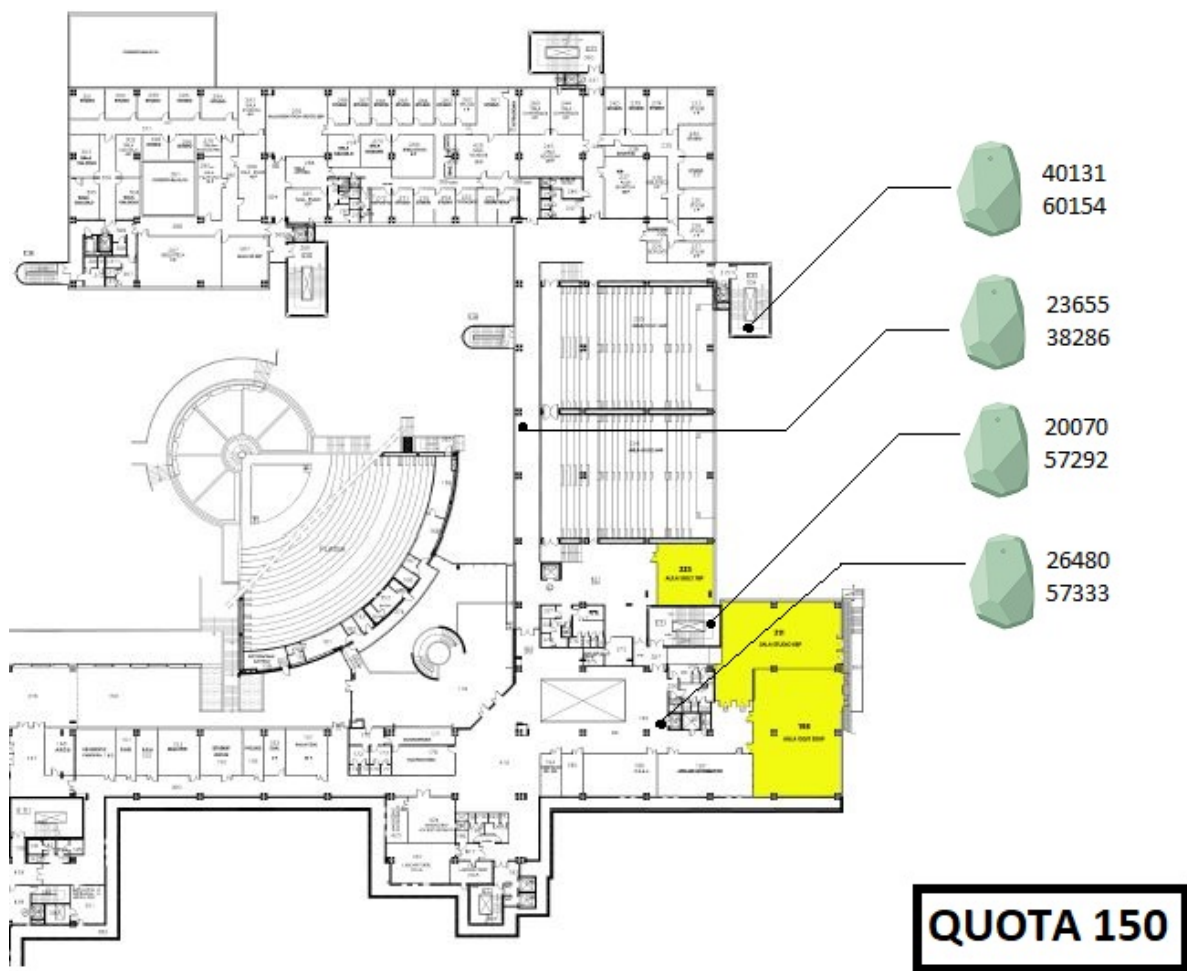


Figura 2.20 Pianta quota 150 disposizione beacon

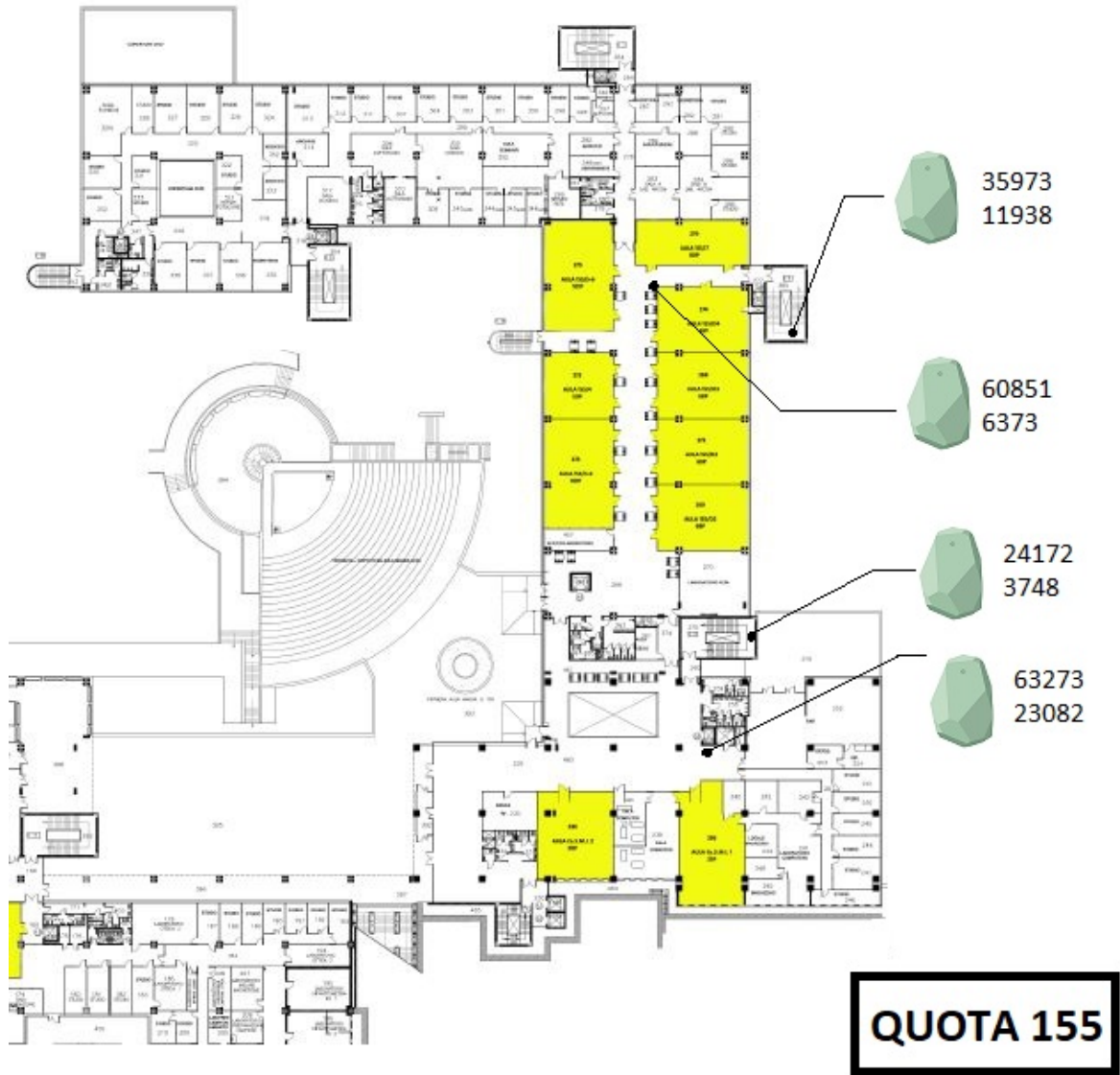


Figura 2.21 Pianta quota 155 disposizione beacon

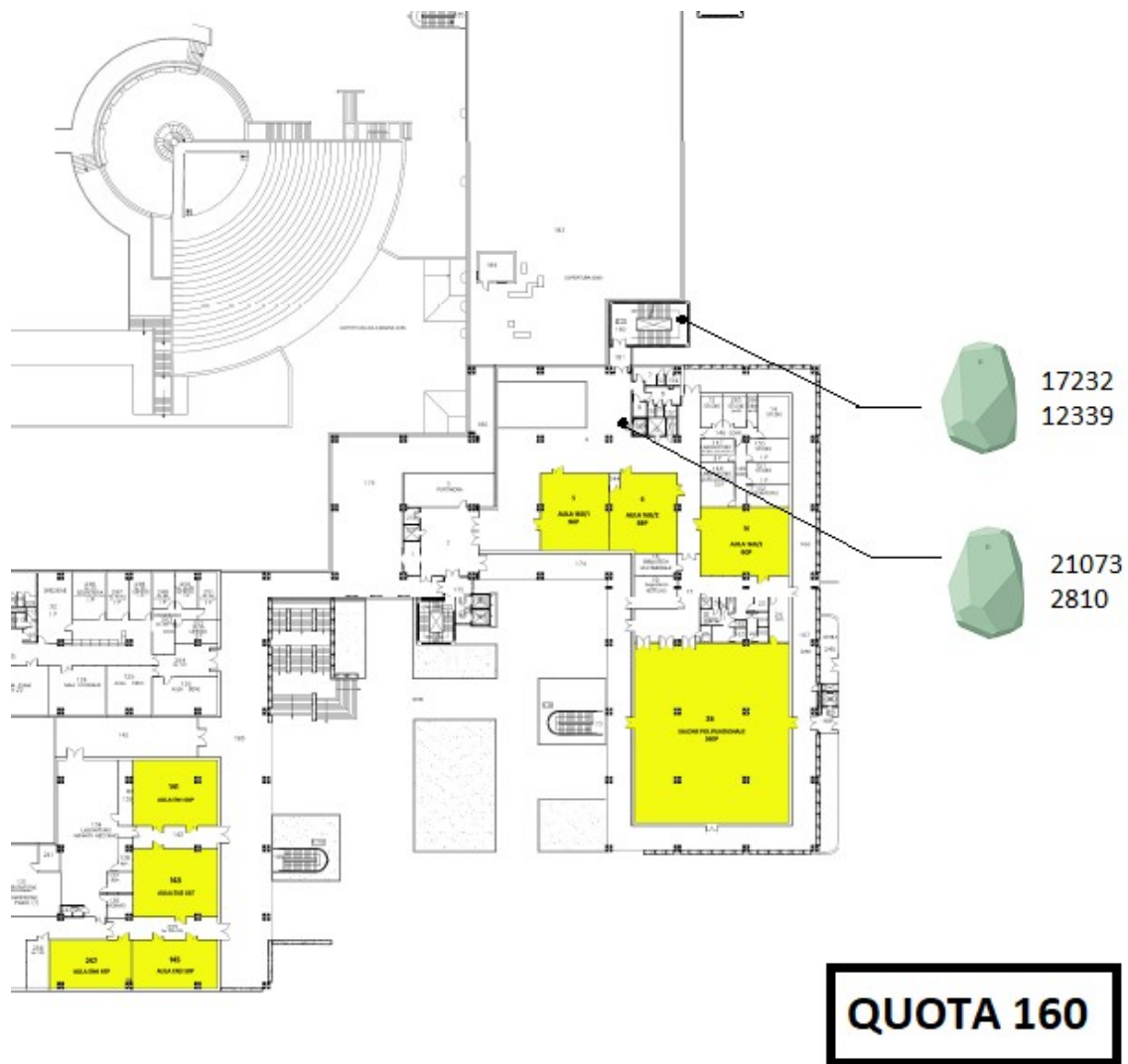


Figura 2.22 Pianta quota 160 disposizione beacon

### 2.5.3 Protocollo di prova

Per adempiere alle finalità della prova, si effettua il tracciamento del moto tramite tablet consegnati ai partecipanti e utilizzando l'applicazione iBeacon & Eddystone Scanner per sistema operativo Android, che permetterà la connessione a dispositivi beacon tramite protocolli di comunicazione bluetooth.

La prova, presso la Facoltà di Ingegneria, 50 partecipanti volontari.

Sui quattro percorsi, c'è stata la possibilità di eseguire la prova:

- PROVA SINGOLA: eseguita da un'unica persona;
- PROVA DI GRUPPO, scegliendo un massimo di sei partecipanti a prova;

- PROVA CON EYE-TRACKING, di gruppo o singola con il supporto della strumentazione Eye -Tracking.

Agli studenti/volontari sarà dato un dispositivo (tablet) con sistema operativo Android con il quale effettueranno un percorso a scelta all'interno dell'Università, più precisamente tra quota 160 e quota 145.

Terminata la prova occorre:

- restituire i tablet ai tirocinanti presenti;
- riempire il modulo sulla privacy;
- compilare il questionario anonimo.

Alcune indicazioni utili per lo svolgimento della prova sono:

- durante lo svolgimento della prova l'applicazione dovrà essere in funzione;
- si consiglia di scegliere un percorso che interessi i seguenti piani: q145, q150, q155, q160;
- si consiglia di effettuare la prova mantenendo un passo moderato;
- non è possibile effettuare percorsi che interessino aree al di fuori della struttura, anche se corrispondono ai piani sopra citati;
- non utilizzare scale ed ascensori contrassegnati con un segno rosso nella sottostante mappa (figura 2.23):





Figura 2.23 Indicazione con frecce rosse su scale e ascensori da non prendere durante la prova

## 3 Capitolo 3: Risultati

### 3.1 Modello di rappresentazione

È stato possibile creare un modello teorico sul comportamento delle persone all'interno degli edifici, evidenziando sia il livello di occupazione che il movimento delle persone. Nello schema l'agente ha una serie di intenti, in particolare ha l'obiettivo di muoversi e quindi risulta che il task principale è il *calcolo del moto*. In questa condizione, va ad interagire con altri agenti, avendo anche la possibilità di muoversi in gruppo, e va ad interagire con l'ambiente che lo circonda. Una prima divisione è rappresentata dalla delimitazione con linee tratteggiate che indicano:

- linea rossa, delimita una serie di elementi legati alla persona e che vengono utilizzati da quest'ultima per svolgere una determinati compiti;
- linea verde; delimita tutti gli elementi che fanno parte dell'edificio, più in generale dell'ambiente in esame.

I collegamenti tra due o più elementi viene rappresentato tramite frecce con linea continua. Il task *calcolo del moto* è subito collegato:

- al task *livello di occupazione*, di seguito collegato a 4 obiettivi che evidenziano ognuno un'azione differente;
- al task *interazione con altri utenti*, in particolar modo si riferisce alla coesione tra persone e all'interazione con flussi di persone che vanno a procedere lungo una traiettoria opposta alla propria;
- al goal cardine *flussi di persone tra ambienti*.

Quest'ultimo goal si snoda in due task che mi permettono di individuare i seguenti obiettivi: *scelta del percorso* e *attrazione verso l'obiettivo*. La scelta del percorso si focalizza esclusivamente su due goal: utilizzo scale e utilizzo ascensori ed essendo possibile l'utilizzo di entrambi su uno stesso percorso, la scelta di uno non preclude l'utilizzo dell'altro collegamento verticale. Mentre, l'attrazione verso l'obiettivo, il quale fa riferimento alla risorsa piano (identificato come destinazione ultima del percorso), si snoda in diversi goals, identificativi di vari elementi tecnici presenti lungo il percorso e utilizzabili per raggiungere un determinato piano.

Per quanto concerne l'insieme di elementi che fanno parte dell'ambiente, risultano essere tutte risorse che esprimono un'area specifica in base al goal a cui sono direttamente collegati.

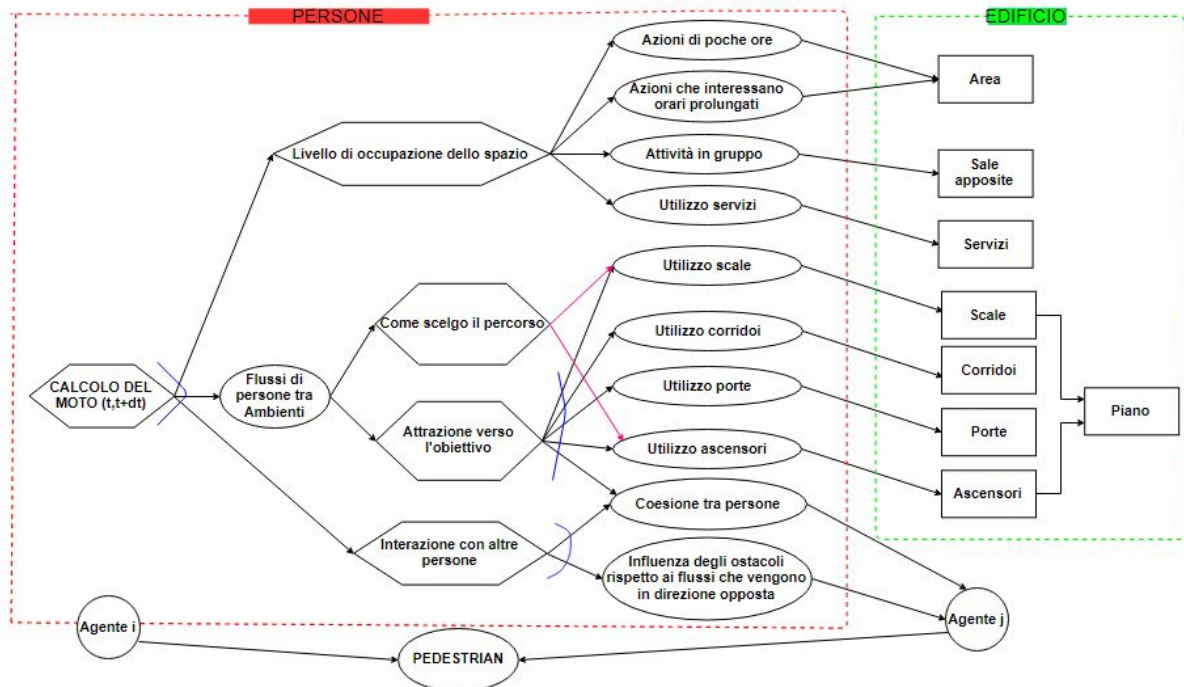
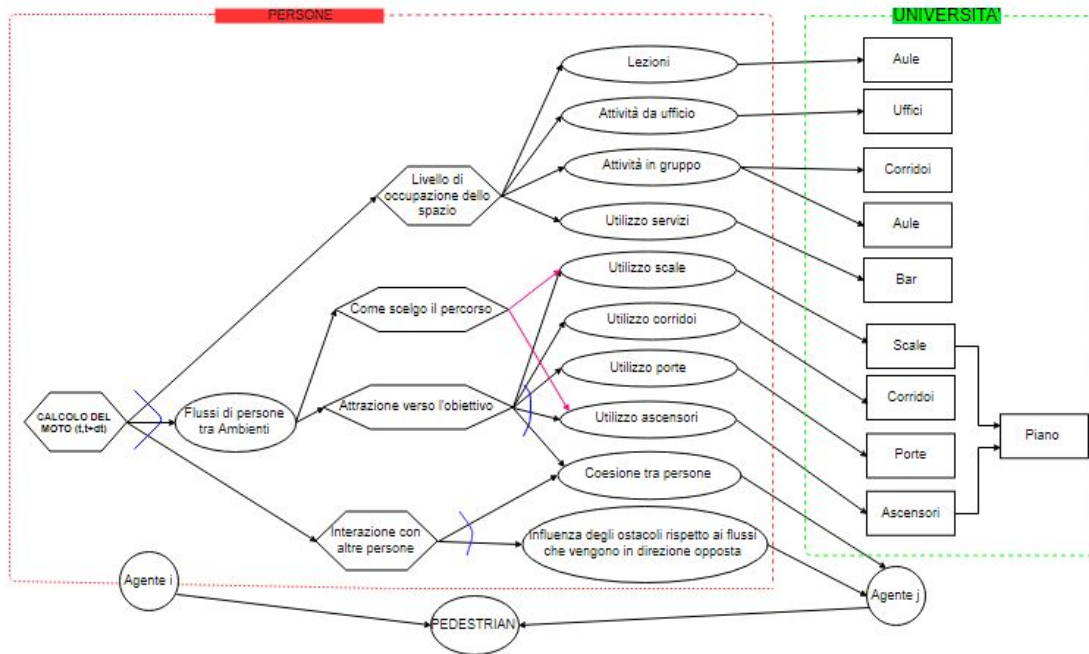


Figura 3.1: Modello teorico di rappresentazione del comportamento degli utenti di un caso generico, secondo la logica Agent-Based



**Figura 3.2: Modello teorico di rappresentazione del comportamento degli utenti del caso studio, secondo la logica Agent-Base**

## 3.2 Risultati della prova di monitoraggio dell'occupazione

### 3.2.1 Osservazioni generali

La prova si è svolta nella Facoltà di Ingegneria, sede di Ancona, dell'Università Politecnica delle Marche, nel periodo compreso tra il 14 e il 31 Maggio 2019.

I giorni delle settimane prese in considerazione per il monitoraggio vanno dal Lunedì al Giovedì, poiché si è tenuto conto del calendario delle lezioni.

Alla prova hanno partecipato gli studenti dei corsi di Ingegneria Edile e Ingegneria Edile-Architettura.

Dall'analisi dei questionari compilati, si riporta nel grafico 1 l'età del campione esaminato e nel grafico 2 la frequenza con cui gli stessi studenti si recano all'Università:

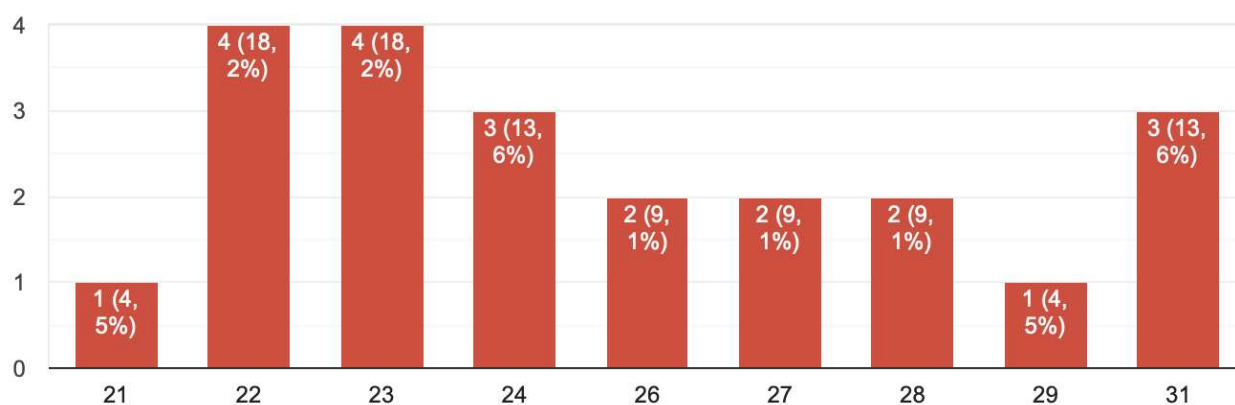


Grafico 1 - Distribuzione del numero di partecipanti per classi di età (Questionario in appendice)

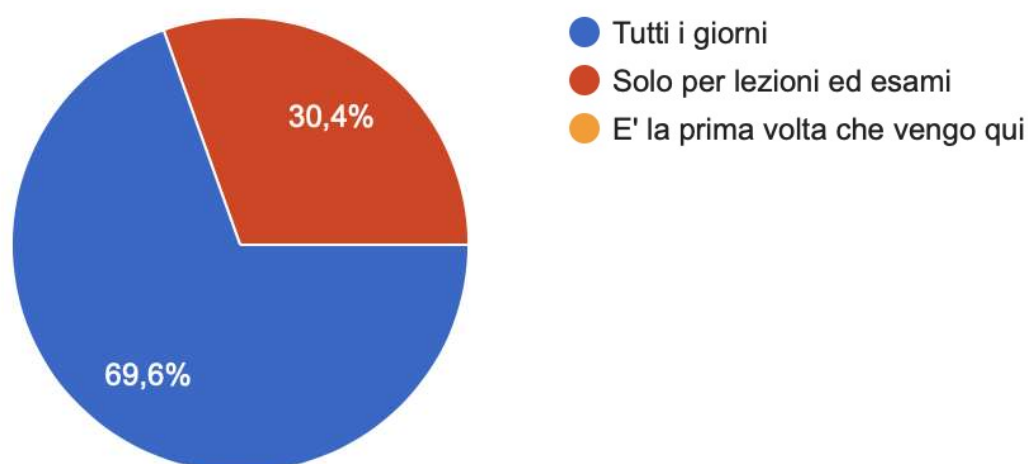


Grafico 2 - Percentuale della frequenza (Questionario in appendice)

### 3.2.1.1 Occupazione nominale

Si riporta l'orario delle lezioni degli studenti del campione di prova, per definire l'occupazione nominale della zona aule corrispondente al nodo 3-4, per cui vengono prese in considerazione le aule 155/D1, 155/D3, 155/D4, 155/2-3, 155/4, 155/5-6.

	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì
Fascia oraria	10:30-12:30	8:30-13:30	10:30-13:30	11:30-16:30
	13:30-17:30	14:30-18:30	14:30-18:30	

### 3.2.2 Analisi dei risultati

A partire dall'analisi dei 21 file .csv ricevuti da 21 studenti coinvolti nella prova, i risultati sono stati organizzati nella tabella precedente in maniera tale da evidenziare dapprima il dato della permanenza media per nodo e per giorno di ogni partecipante.

Si riporta di seguito il procedimento svolto per realizzare la tabella [xx]:

- Rinominazione di ogni file in beacon\_n;
- Rimozione di file doppi e vuoti;
- Determinazione di:

- 1) **Inizio e fine:** gli intervalli di tempo in cui l'app è rimasta in funzione, divisa per giorni;
- 2) **Durata 1:** la durata totale di ogni intervallo in minuti;
- 3) **Durata 2:** unione di più intervalli consecutivi e con stesso nodo ed espressa in minuti;
- 4) **Occupazione nei nodi:** seguendo il grafo di figura 2.11. risulta che sono stati utilizzati i seguenti nodi: **1** (a cui viene associato il colore blu), **2** (rosso), **3-4** (giallo), **A** (verde).
  - I nodi 3 e 4 sono stati accorpati in quanto la rilevazione avviene contemporaneamente da parte di beacon presenti in entrambi i nodi.
  - Il collegamento A è stato scelto come nodo poiché in diversi casi c'è stata permanenza di durata significativa.
  - Il movimento da un nodo all'altro è stato indicato segnando il tempo di permanenza tramite l'unione delle celle nella stessa riga, oppure con una X

nel caso in cui l'ultima rilevazione, di durata trascurabile (inferiore al minuto), sia avvenuta in un nodo diverso rispetto a quello precedente.

- La semplice permanenza nel nodo è stata indicata segnandone la durata.

5) **Collegamenti:** suddivisione in “Ascensore principale”, “Scale principali” e “Scale e ascensori secondari” come già specificato nel protocollo di prova. Indicazione della scelta intrapresa e degli spostamenti da/a quale quota. Nel caso in cui non si conosca il punto di arrivo per via dell'assenza di beacon di monitoraggio, o per lo spegnimento dell'app durante lo spostamento, la scelta è stata segnata solo con una X.

6) **Ipotesi di permanenza fino alle 18.30** in base al protocollo di prova:

- Nel caso in cui l'ultima rilevazione ricada all'interno di un nodo, si suppone la permanenza fino alle 18:30;
- Nel caso in cui l'ultima rilevazione ricada all'interno di un collegamento, si suppone che il soggetto sia in movimento per lasciare l'università, poiché nel protocollo è stabilito che l'app, se spenta, venga riaccesa prima di effettuare uno spostamento.

- Nel caso in cui la destinazione dello spostamento sia il nodo 1, si suppone comunque la permanenza fino alle 18:30

7) **Permanenza per nodo:** in minuti, somma tra la permanenza nei singoli nodi e la permanenza ipotizzata fino alle 18:30.

File	Giorno	Attivazione Dispositivo			Durata 2 (ore)	Occupazione - Permanenza (ore)				Collegamenti			Ipotesi permanenza fino alle 18:30	Permanenza per giorno (ore)
		Inizio	Fine	Durata 1 (ore)		Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3-4	Nodo A	Ascensore	Scale	Secondari		
Beacon_1	14-mag	11:24	11:26	00:02	00:13		0.13							0.13
	14-mag	11:37	11:37	00:00										
	15-mag	16:14	16:16	00:02	00:12			0.11			160-155			0.11
	15-mag	16:25	16:26	00:01										
Beacon_4	15-mag	13:56	13:56	00:00	00:05					155-150				
	15-mag	14:00	14:01	00:01		X							Nodo 1	4.34
	16-mag	11:39	11:40	00:01				0.01					Nodo 3-4	6.50
Beacon_7	14-mag	10:04	10:08	00:04	00:11		0.11							
	14-mag	10:10	10:10	00:00									Nodo 2	8.15
	14-mag	10:15	10:15	00:00										
	16-mag	09:27	09:29	00:02	01:35			1.35						7.28
	16-mag	09:48	09:52	00:04									Nodo 3-4	2.32
	16-mag	10:54	11:02	00:08										
	21-mag	14:34	14:35	00:01	02:32				2:32					
	21-mag	17:05	17:06	00:01				X						
21-mag	17:15	17:19	00:04	0:04			0.04					Nodo 3-4	1.11	
Beacon_9	21-mag	9.44	9.45	00:01	00:04									
	21-mag	9.47	9.48	00:01				0.04					Nodo 2	8.42
Beacon_11 (12 e 13)	23-mag	16:52	16:52	00:00	0.01									
	23-mag	17:30	17:31	00:01	00:01					X	X			
	23-mag	18:33	18:36	00:03	00:03	0.02				150-155				1.38

Beacon_14	21-mag	10:43	10:59	00:16	00:16			0.16					Nodo 3-4	8.31	
	22-mag	10:20	10:37	00:17	00:25			0.25					Nodo 3-4	8.10	
	22-mag	10:44	10:45	00:01									Nodo 3-4	3.56	
	27-mag	14:34	16:59	02:25	02:25			2.25					Nodo 3-4	3.39	
	28-mag	10:39	10:43	03:39	03:39			3.39	4.20			X	Nodo A	4.20	
	28-mag	14:18	18:40	04:22	04:22			0.02							3.57
	29-mag	10:14	14:11	03:57	03:57			3.57						Nodo 1	7.02
	30-mag	11:28	13:46	02:18	02:18	X		2.18			155-150				
Beacon_15	20-mag	13:57	14:01	00:04	03:33			3.33					Nodo 3-4	4.33	
	20-mag	15:43	17:30	01:47											
	21-mag	09:53	09:54	00:01											
	21-mag	10:38	11:11	00:33	03:46			3.46							
	21-mag	13:32	13:39	00:07										3.46	
	27-mag	14:38	14:50	00:12	00:12			0.12					Nodo 3-4	3.52	
	30-mag	11:25	11:35	00:10											
	30-mag	13:04	13:12	00:08											
	30-mag	13:26	13:44	00:18	02:39			2.39					Nodo 3-4	7.05	
	30-mag	13:59	14:04	00:05											
Beacon_16	28-mag	08:38	08:38	00:00							X				
	28-mag	08:51	08:51	00:00					X					1.26	
	28-mag	11:17	11:17	00:00							X				
Beacon_17	20-mag	13:57	13:58	00:01											
	20-mag	14:00	14:04	00:04	02:22			2.22							
	20-mag	15:47	15:47	00:00										2.22	
	20-mag	16:16	16:19	00:03											
	27-mag	12:31	12:31	00:00											
	27-mag	13:08	13:09	00:01											
	27-mag	13:25	13:28	00:03											
	27-mag	13:55	13:55	00:00	01:58			1.58							
	27-mag	14:01	14:01	00:00											
	27-mag	14:09	14:09	00:00											
	27-mag	14:20	14:20	00:00											
	27-mag	14:29	14:29	00:00										1.58	
	28-mag	10:39	10:39	00:00											
	28-mag	10:48	10:48	00:00											
	28-mag	10:59	10:59	00:00											
	28-mag	11:54	11:54	00:00	02:50			2.50							
28-mag	12:27	12:27	00:00												
28-mag	13:25	13:25	00:00												
28-mag	13:29	13:29	00:00												
28-mag	16:19	16:50	00:31						0.50				5.40		
28-mag	17:12	17:12	00:00	00:53					X			Nodo A	2.11		
29-mag	14:18	14:18	00:00									Nodo A			
Beacon_18	28-mag	10:45	10:45	00:00	02:54			2.54			155-150			2.54	
	28-mag	13:39	13:42	00:03	00:03										
	29-mag	08:44	08:44	00:00											
	29-mag	10:12	10:12	00:00	03:16			3.16							
	29-mag	10:15	10:15	00:00											
	29-mag	11:54	12:00	00:06									Nodo 3-4	11.46	
	30-mag	08:46	08:50	00:04	01:21			1.21						1.21	
	30-mag	10:11	10:11	00:00									Nodo A	8.19	
	30-mag	11:04	11:07	00:03					X						
Beacon_19	20-mag	13:57	17:34	03:37	03:37			3.37						3.37	
	21-mag	10:36	12:52	02:16				2.16							
	21-mag	13:39	14:31	00:52	05:41			0.52						5.41	
	21-mag	16:17	16:17	00:00		X							X nodo 1	2.13	
	22-mag	10:20	10:45	00:25	00:25			0.25					Nodo 3-4	8.10	
	27-mag	14:33	14:40	00:07											
	27-mag	15:03	15:54	00:51	01:48			1.48							
	27-mag	16:10	16:21	00:11											
	28-mag	10:39	10:45	00:06									Nodo 3-4	3.57	
	28-mag	10:48	13:41	02:53	03:02			3.02						3.02	
	28-mag	13:46	13:48	00:02											
	28-mag	13:55	13:55	00:00											
	28-mag	13:59	15:02	01:03	04:49			4.49							
	28-mag	15:20	15:57	00:37											
	28-mag	18:01	18:03	00:02											
	28-mag	18:05	18:05	00:00										4.49	
	28-mag	18:35	18:39	00:04	00:04			0.03				X			
	29-mag	10:24	10:25	00:01											
	29-mag	10:57	10:57	00:00	03:23			3.23							
	29-mag	11:31	12:52	01:21											
29-mag	13:47	14:11	00:24	00:24			0.24						3.47		
30-mag	11:38	11:42	00:04												
30-mag	12:01	12:01	00:00												
30-mag	12:14	12:14	00:00												
30-mag	12:32	12:33	00:01	02:08			2.08								
30-mag	12:35	12:35	00:00												
30-mag	12:49	12:49	00:00												



	30-mag	13:05	13:05	00:00															
	30-mag	13:21	13:22	00:01															
	30-mag	13:39	13:46	00:07		X			0.05				155-150			Nodo 1		6.54	
Beacon_20	15-mag	17:38	17:38	00:00												Nodo 3-4		0.52	
	16-mag	09:28	11:36	02:08	02:08			X	2.08							Nodo 3-4		9.02	
	21-mag	12:43	13:12	00:29						0.12								0.12	
	21-mag	14:39	15:56	01:17	05:00				4:39									4.39	
	21-mag	17:06	17:43	00:37				0.09								Nodo 2		1.24	

**Tabella 3.1 - Permanenza per giorno, e per nodo in base al colore assegnato**

I tempi di permanenza ottenuti nella **Tabella 3.1** sono stati raggruppati nella **Tabella 3.2** in base al nodo, mantenendo la suddivisione per giorno, al fine di evidenziarne la permanenza media.

Giorno	Tempo di permanenza per nodo e per giorno (ore)					Permanenza media (ore)
14/05/2019	8.15	0.13				4.14
15/05/2019	4.34					4.34
15/05/2019	0.11	0.52				0.31
16/05/2019	6.50	9.02	7.28			7.46
20/05/2019	4.33	2.22	3.37			3.30
21/05/2019	2.32	0.12				1.22
21/05/2019	1.11	8.31	3.46	5.41	4.39	4.45
21/05/2019	8.42	1.24				5.03
21/05/2019	2.13					2.13
22/05/2019	8.10	8.10				8.10
23/05/2019	1.38					1.38
27/05/2019	3.57	1.58	3.52	3.56		3.25
28/05/2019	3.02	5.40	2.54	3.39		3.48
28/05/2019	4.49	1.26	2.11	4.20		3.11
29/05/2019	3.57	11.46	3.47			6.30
30/05/2019	1.21	7.02	7.05	6.54		5.35
30/05/2019	8.19					8.19

**Tabella 3.2 - Permanenza media per giorno e per nodo**

Nella **Tabella 3.2** si effettua la distribuzione delle permanenze medie per ogni giorno di rilevazione, con l'obiettivo di ottenere la permanenza media settimanale (da lunedì a giovedì) per ogni nodo. Il risultato è una restituzione su grafico a torta (grafico 3.4), per indicare la percentuale di permanenza media settimanale per ogni nodo.

Giorno	Tempo totale di permanenza per nodo ogni giorno (ore)			
	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3-4	Nodo A
14/05/2019	0.00	4.14	0.00	0.00
15/05/2019	4.34	0.00	0.31	0.00
16/05/2019	0.00	0.00	7.46	0.00
20/05/2019	0.00	0.00	3.30	0.00
21/05/2019	2.13	5.03	4.45	1.22
22/05/2019	0.00	0.00	8.10	0.00
23/05/2019	1.38	0.00	0.00	0.00
27/05/2019	0.00	0.00	3.25	0.00
28/05/2019	0.00	0.00	3.48	3.11
29/05/2019	0.00	0.00	6.30	0.00
30/05/2019	0.00	0.00	5.35	8.19
<b>Permanenza media per nodo e per settimana:</b>	0.45	0.50	4.00	1.10

Tabella 3.3 - Permanenza media settimanale per nodo

### Percentuale di permanenza media settimanale (lun-gio) per ogni nodo

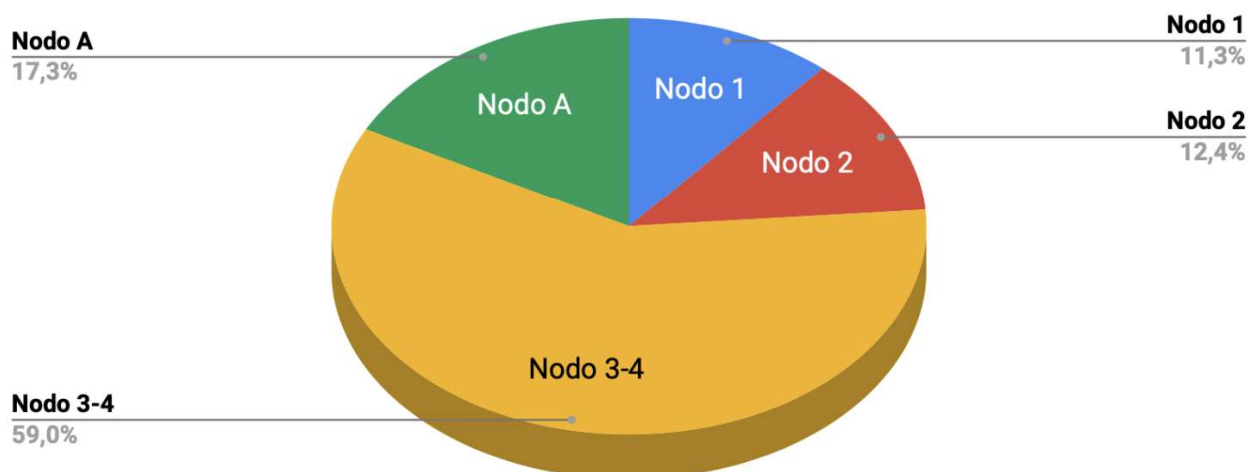


Grafico 3.4 - Percentuale di permanenza media settimanale

Dal grafico sopra riportato si evince che il nodo 3-4 è quello maggiormente occupato dal campione per il 59,0% del tempo di permanenza media settimanale.

Utilizzando i seguenti dati della **Tabella 3.1**:

- inizio e fine dell'orario di accensione dell'app,
- ipotesi di permanenza fino alle 18:30, e di conseguenza:

- permanenza per nodo e per giorno (ore)

viene effettuata la distribuzione per ogni 15 minuti dei dispositivi attivi, suddivisa in giorni (**Tabella 3.4**)

Un dispositivo viene valorizzato 1 e la sovrapposizione di più dispositivi attivi viene valorizzata sommandoli tra loro.

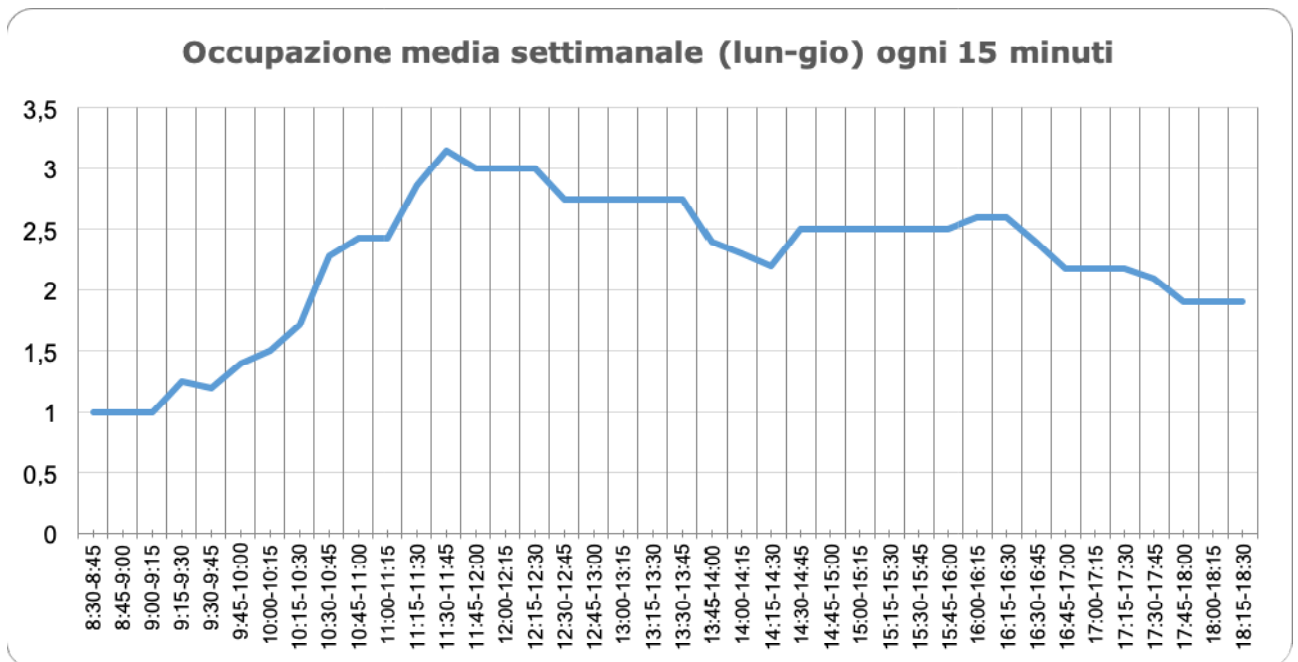
In questo modo si ottiene la media settimanale dei dispositivi attivi per ogni 15 minuti.

Si sceglie di utilizzare la scala di colori dal verde (minima densità di persone) al rosso (massima densità).

	14/05/19	15/05/19	16/05/19	20/05/19	21/05/19	22/05/19	23/05/19	27/05/19	28/05/19	29/05/19	30/05/19	Media
8:30-8:45									1	1		1,00
8:45-9:00									1	1	1	1,00
9:00-9:15									1	1	1	1,00
9:15-9:30			2						1	1	1	1,25
9:30-9:45			2		1				1	1	1	1,20
9:45-10:00			2		2				1	1	1	1,40
10:00-10:15	1		2		2				1	2	1	1,50
10:15-10:30	1		2		2	2			1	3	1	1,71
10:30-10:45	1		2		3	2			4	3	1	2,29
10:45-11:00	1		2		3	2			5	3	1	2,43
11:00-11:15	1		2		3	2			5	3	1	2,43
11:15-11:30	2		2		3	2			5	3	3	2,86
11:30-11:45	2		3		3	2			5	3	4	3,14
11:45-12:00	1		3		3	2			5	3	4	3,00
12:00-12:15	1		3		3	2			5	3	4	3,00
12:15-12:30	1		3		3	2			5	3	4	3,00
12:30-12:45	1		3		3	2		1	5	3	4	2,75
12:45-13:00	1		3		3	2		1	5	3	4	2,75
13:00-13:15	1		3		3	2		1	5	3	4	2,75
13:15-13:30	1		3		3	2		1	5	3	4	2,75
13:30-13:45	1		3		3	2		1	5	3	4	2,75
13:45-14:00	1	1	3	3	2	2		1	4	3	4	2,40
14:00-14:15	1	1	3	3	2	2		1	4	3	3	2,30
14:15-14:30	1	1	3	3	2	2		1	4	2	3	2,20
14:30-14:45	1	1	3	3	3	2		3	4	2	3	2,50
14:45-15:00	1	1	3	3	3	2		3	4	2	3	2,50
15:00-15:15	1	1	3	3	3	2		3	4	2	3	2,50
15:15-15:30	1	1	3	3	3	2		3	4	2	3	2,50
15:30-15:45	1	1	3	3	3	2		3	4	2	3	2,50
15:45-16:00	1	1	3	3	3	2		3	4	2	3	2,50
16:00-16:15	1	2	3	3	3	2		3	4	2	3	2,60
16:15-16:30	1	2	3	3	3	2		3	4	2	3	2,60
16:30-16:45	1	1	3	2	3	2		3	4	2	3	2,40
16:45-17:00	1	1	3	2	2	2	1	3	4	2	3	2,18
17:00-17:15	1	1	3	2	2	2	1	3	4	2	3	2,18
17:15-17:30	1	1	3	2	2	2	1	3	4	2	3	2,18
17:30-17:45	1	2	3	2	1	2	1	3	3	2	3	2,09
17:45-18:00	1	2	3	1	0	2	1	3	3	2	3	1,91
18:00-18:15	1	2	3	1	0	2	1	3	3	2	3	1,91
18:15-18:30	1	2	3	1	0	2	1	3	3	2	3	1,91

Si riporta di seguito il risultato dell'intera analisi in un grafico di occupazione media settimanale, diviso in fasce da 15 minuti per ottenere una migliore accuratezza rispetto alla divisione per fasce orarie.

I valori più alti di densità si registrano tra le 11:15 e le 13:45. Il passo successivo è verificare se la correlazione con gli orari delle lezioni restituisca un effettivo riscontro con i dati raccolti.

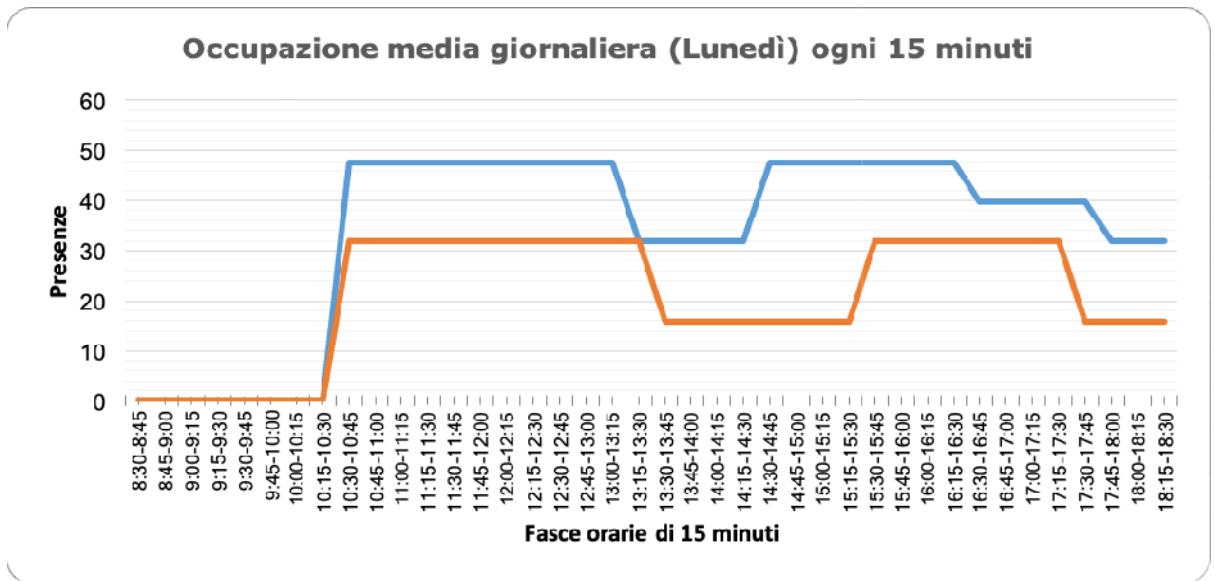


### 3.2.2.1 Correlazione con occupazione nominale

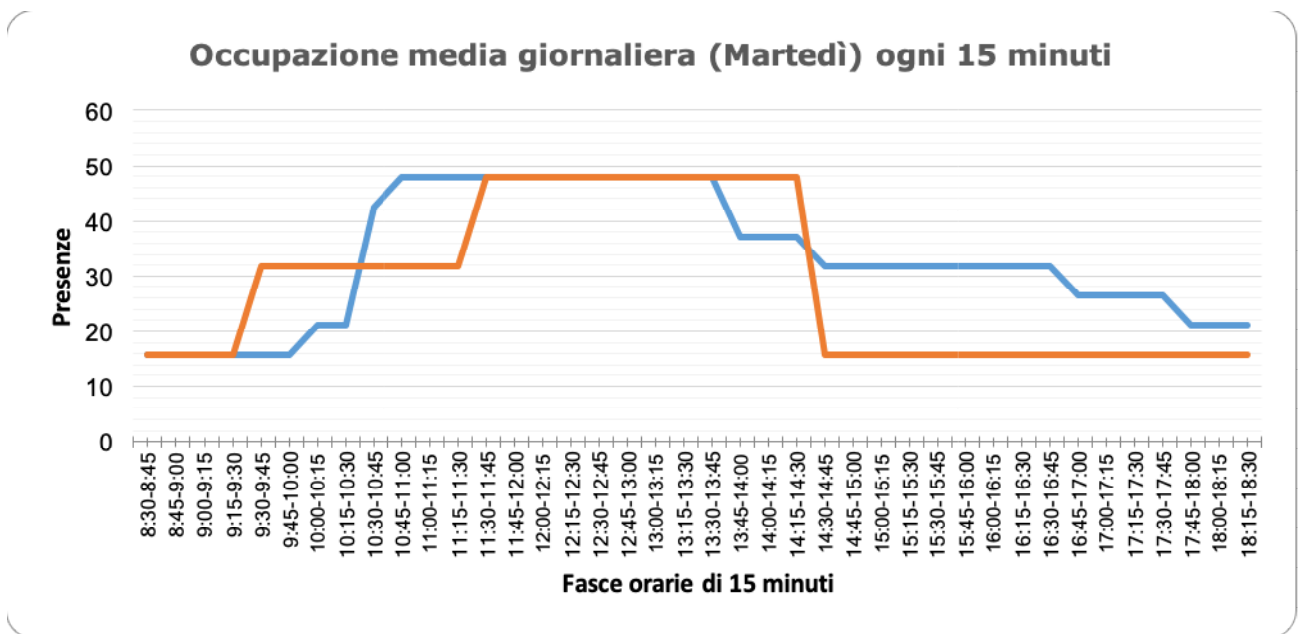
Si mettono a confronto i dati raccolti durante il monitoraggio di Q155, con l'orario delle lezioni nelle aule dello stesso piano (*paragrafo 3.3.1.1.*) per vedere di quanto si discostano i dati rilevati dalla normale occupazione delle aree esaminate.

- La linea blu rappresenta l'occupazione media giornaliera rilevata
- La linea rossa rappresenta l'occupazione media giornaliera nominale

- **Lunedì**

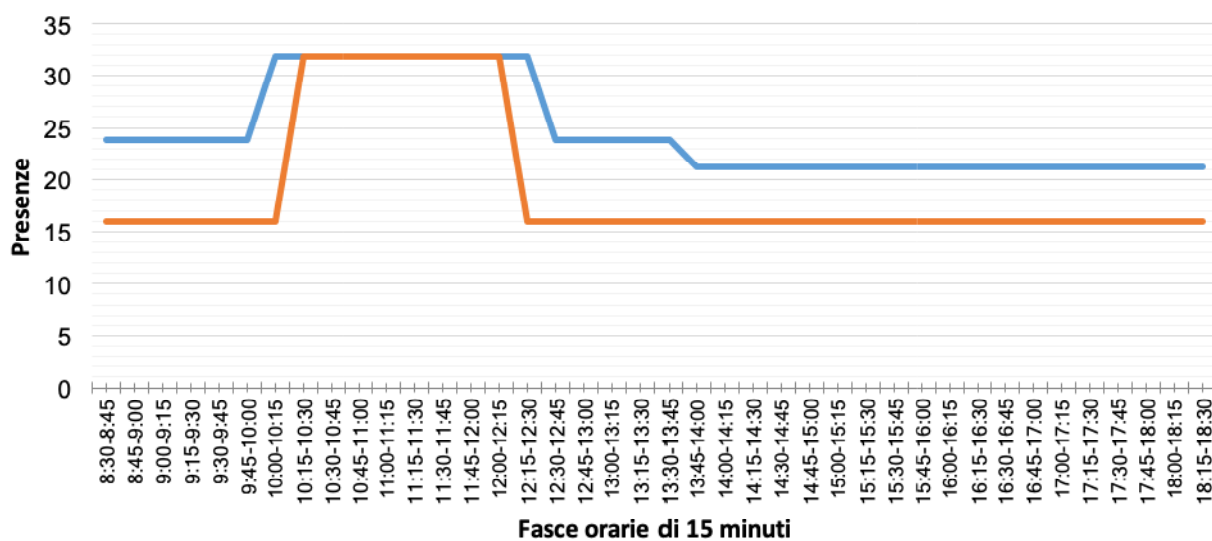


- **Martedì**



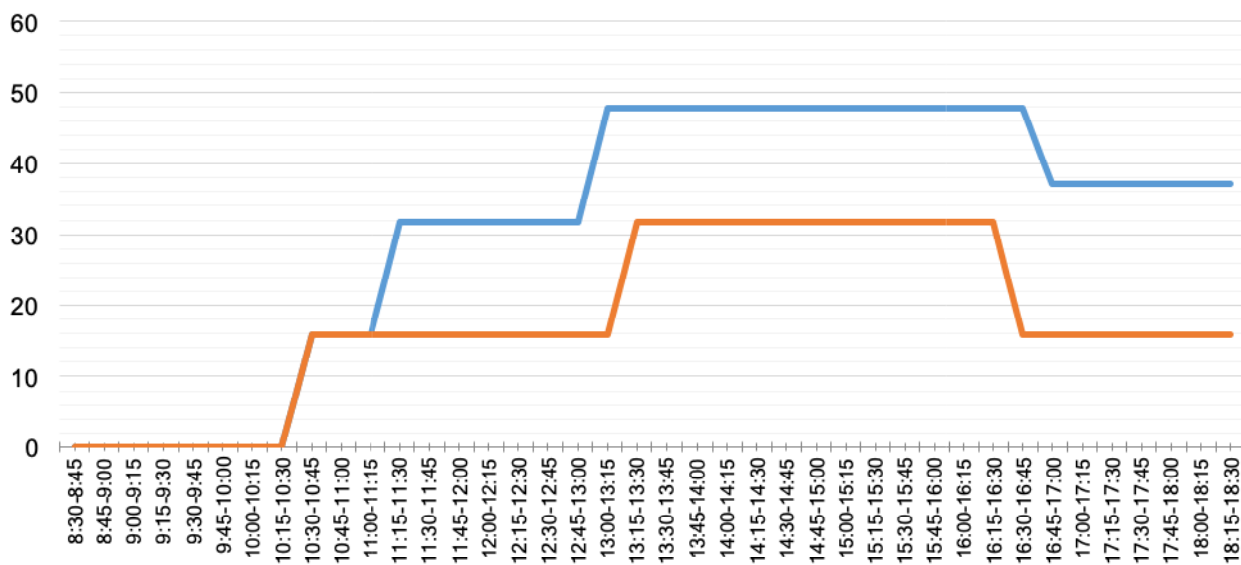
- **Mercoledì**

### Occupazione media giornaliera (Mercoledì) ogni 15 minuti



- **Giovedì**

### Occupazione media giornaliera (Giovedì) ogni 15 minuti



## 3.3 Risultati della prova di monitoraggio del movimento delle persone

### 3.3.1 Osservazioni generali

La prova si è svolta nella Facoltà di Ingegneria, sede di Ancona, dell'Università Politecnica delle Marche.

Hanno partecipato alla prova diversi frequentatori dell'Università: studenti, collaboratori esterni, dottorandi, professori. La distribuzione dell'età dei partecipanti è riportata nel grafico 26, in cui si evince un numero maggiore di età dei partecipanti tra i 21 e 22 anni.

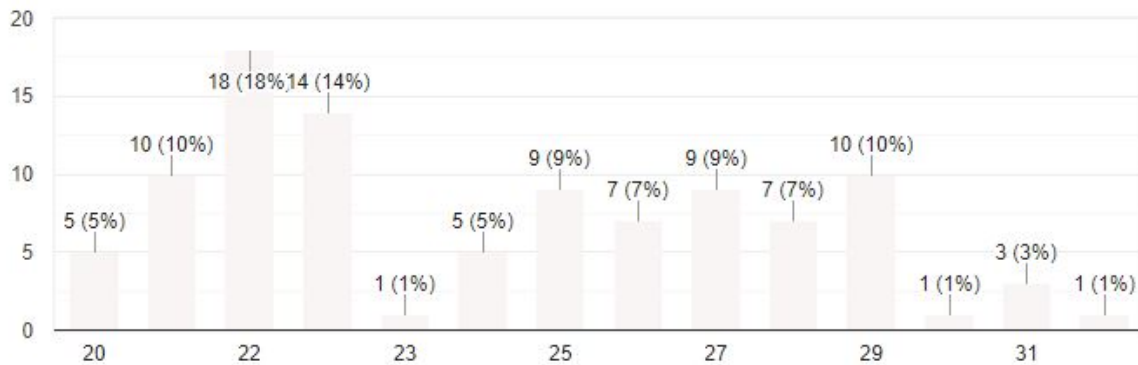


Figura 3.3 Distribuzione delle età dei partecipanti.

La maggior parte dei partecipanti, il 67%, si reca all'Università tutti i giorni.

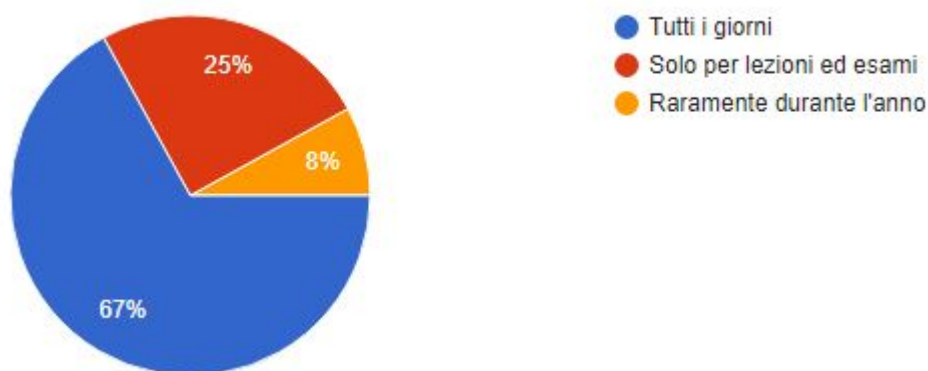


Figura 3.4 Frequenza dei partecipanti nell'università

Sono stati esaminati:

- un campione di 50 persone;
- ogni persona ha eseguito 2 percorsi diversi;
- per ogni tipologia di percorso (A1, A2, B1, B2) sono state eseguite 25 prove, per un totale di 100 percorsi;
- 40 percorsi, sul totale di 100, sono stati eseguiti con l'utilizzo della strumentazione Eye-Tracking;

Dall'analisi dei questionari compilati, vediamo che nelle prove eseguite in gruppo si è scelto principalmente massimo due persone per prova.

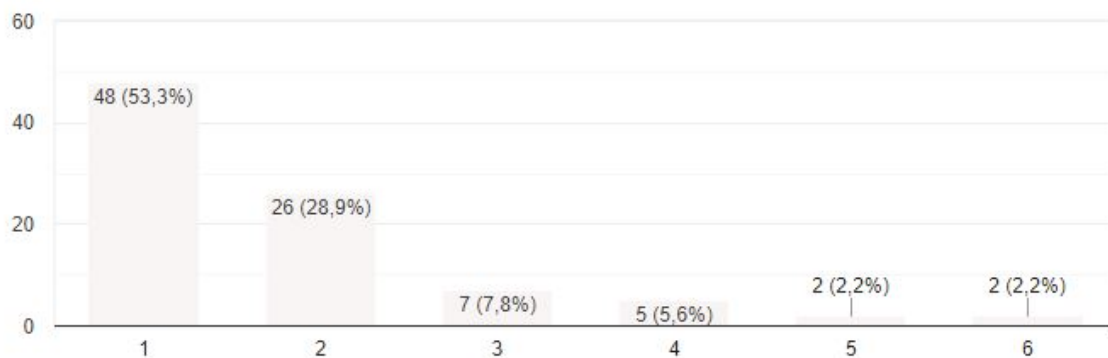


Figura 3.5 Percentuale di persone in base al numero di partecipanti per gruppo

### 3.3.2 Risultati

Sono stati analizzati 100 file csv. In ogni file sono presenti le rilevazioni del passaggio dei partecipanti nelle aree di influenza dei beacon; questo ha permesso il tracciamento del moto di ogni partecipante o gruppo di partecipanti. Nella figura 28 viene riportato un esempio di file .csv da analizzare.

	A	B	D	E	F	G	H
1	Timestamp	TimeFormatted	Major/Instance	Minor	TX	RSSI	Distance
2	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-86	9.946.882.585.173.850
3	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-91	12.016.901.855.622.600
4	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-69	4.016.162.783.106.230
5	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-59	2.208.373.720.943.660
6	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-59	1.893.498.032.241.240
7	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	63273	23082	-55	-89	12.474.636.640.889.000
8	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-64	20.702.552.164.236.200
9	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	63273	23082	-55	-84	1.033.308.021.916.570
10	1,55966E+12	04/06/2019 17:06	21073	2810	-55	-65	19.141.483.046.302.800
11	1,55966E+12	04/06/2019 17:07	24172	3748	-64	-82	29.050.073.131.657.500
12	1,55966E+12	04/06/2019 17:07	17232	12339	-64	-75	18.168.993.181.778.500
13	1,55966E+12	04/06/2019 17:07	20070	57292	-55	-98	2.383.664.107.537.140
14	1,55966E+12	04/06/2019 17:07	24172	3748	-64	-96	32.210.981.229.169.300
15	1,55966E+12	04/06/2019 17:07	17232	12339	-64	-78	20.037.716.007.578.000
16	1,55966E+12	04/06/2019 17:07	100	100	-71	-84	19.036.440.470.612.900

Figura 3.6 Esempio file.csv con rilevazioni da beacon

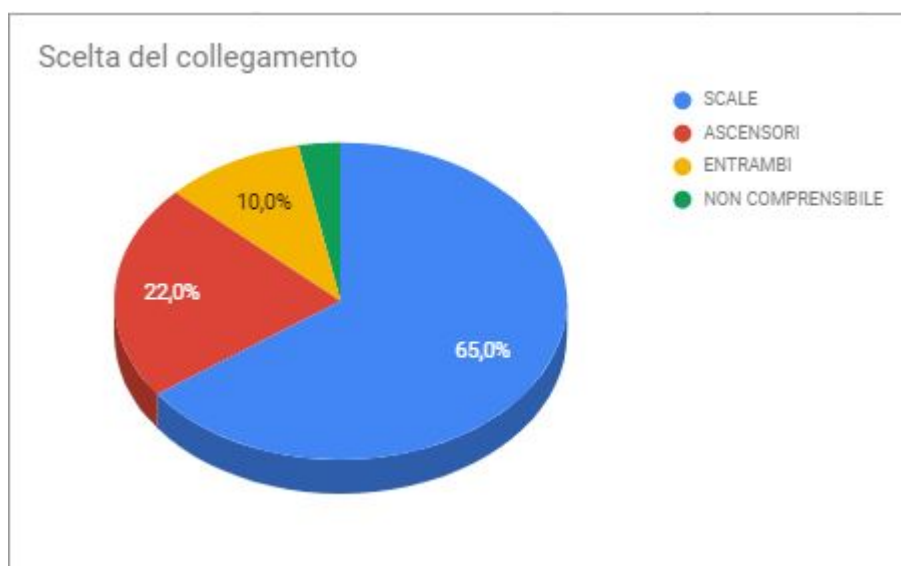


A fine di ogni prova, ogni file è stato rinominato inserendo nel testo sia la tipologia di percorso eseguita e sia se si trattasse di prova singola o di gruppo.

In una prima analisi sono state riportate:

- chi avesse scelto le scale;
- chi gli ascensori;
- chi entrambi i collegamenti in uno stesso percorso;
- le prove che non sono state portate a termine per problemi legati all'applicazione.

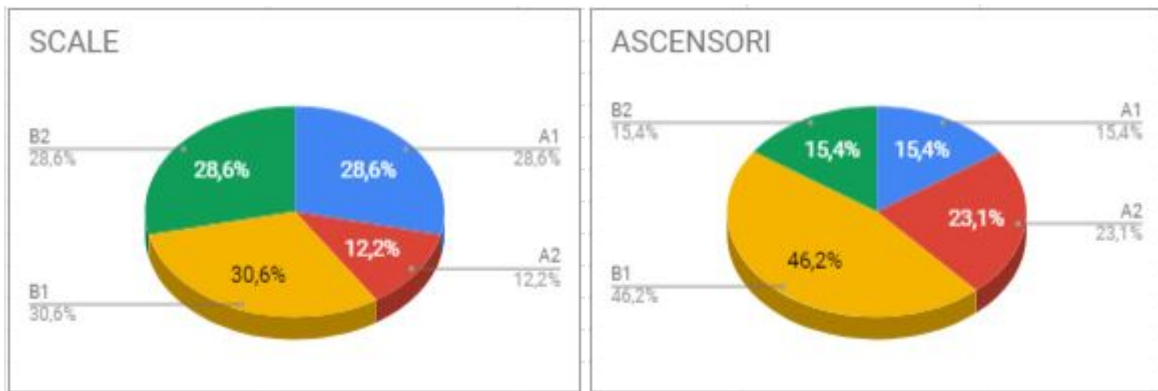
Di conseguenza la percentuale maggiore ricade sull'utilizzo delle scale con il 65% sul totale, seguono gli ascensori con il 22% e solo il 10% ha deciso di usufruire di entrambi i collegamenti in una stessa prova.



**Figura 3.7 Scelta del collegamento in ogni singola prova**

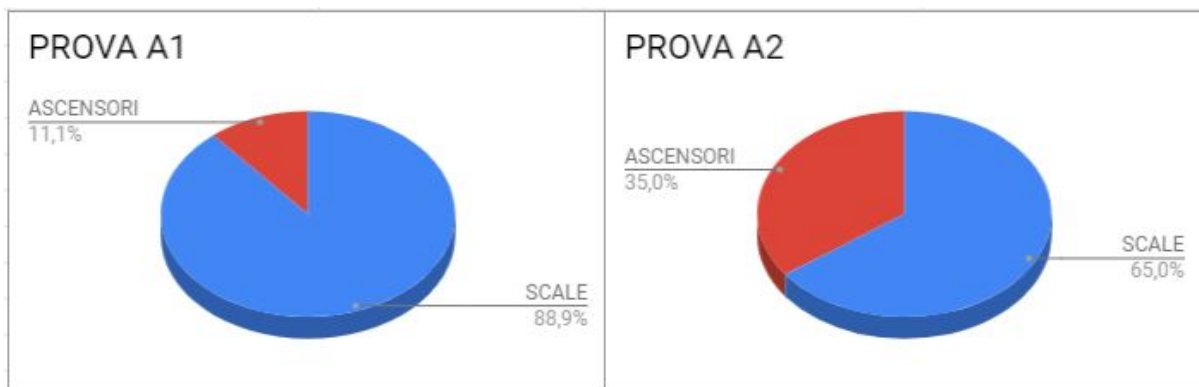
Per cercare di capire la motivazione della scelta del collegamento, si è analizzata la tipologia di percorso in funzione alla scelta eseguita e come si può notare nei grafici 3.8:

- tipologia di percorso A1: si è scelto per il 28,6% le scale e per il 15,4% ascensori;
- tipologia di percorso A2: si è scelto per il 12,2% le scale e per il 23,1% ascensori;
- tipologia di percorso B1: si è scelto per il 30,6% le scale e per il 46,2% ascensori;
- tipologia di percorso B2: si è scelto per il 28,6% le scale e per il 15,4% ascensori.

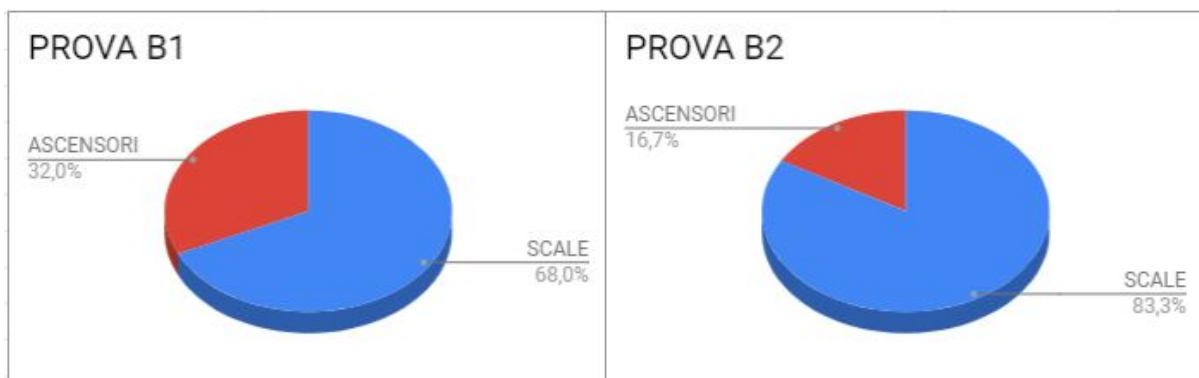


**Figura 3.8 Scelta del collegamento verticale in funzione della tipologia del percorso**

Prendendo singolarmente ogni tipologia di percorso, è riportato nei grafici 3.9 e grafici 3.10 quanti hanno scelto le scale e quanti gli ascensori:



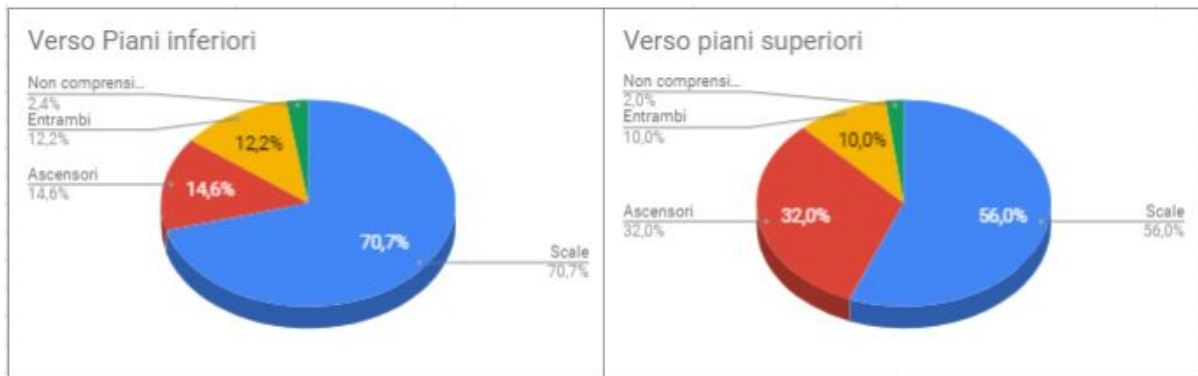
**Figura 3.9 Scelta del collegamento nei percorsi A1 A2**



**Figura 3.10 Scelta del collegamento nei percorsi B1 B2**

In un confronto di una stesso percorso ma in direzioni differenti, quindi analizzando in coppia i percorsi A1-A2 e B1-B2, non preclude l'utilizzo delle scale se il percorso è fatto verso piani superiori. Infatti la prova B1 e A2 dimostrano l'affermazione appena posta.

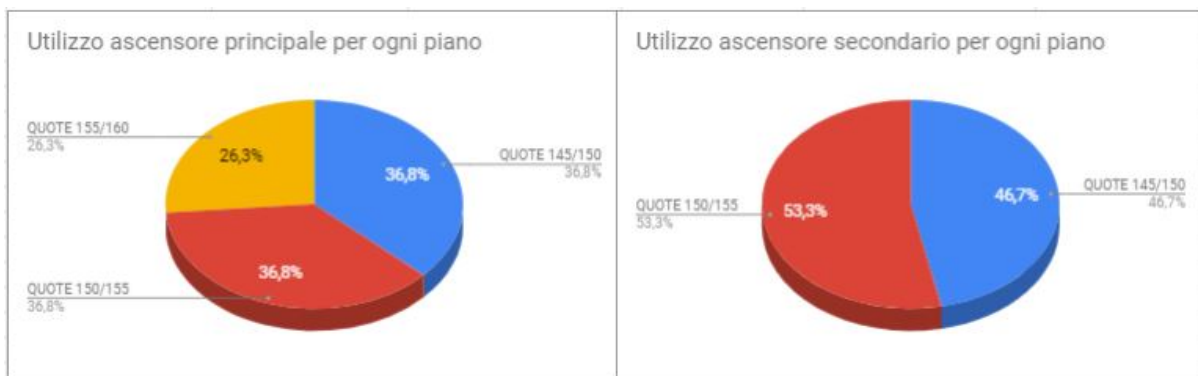
Scendendo sempre più nel dettaglio delle analisi dei dati, si è ritenuto opportuno considerare come soggetto del grafico gli spostamenti verso piani superiori e verso piani inferiori rispetto all'attuale. Ed è emerso che nonostante ci siano percorsi in salita, i partecipanti hanno comunque preferito scegliere le scale.



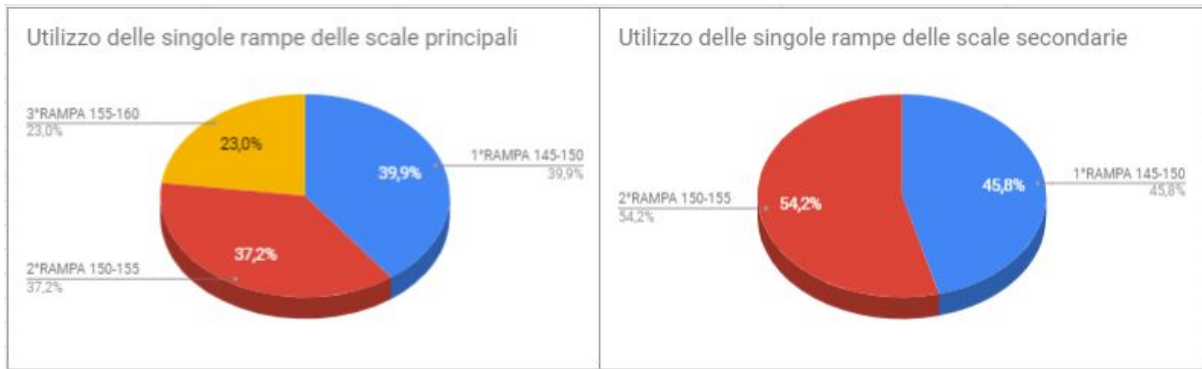
**Figura 3.11 Scelta del collegamento in base alla direzione del percorso**

Ai fini della manutenzione si è ritenuto utile considerare in corrispondenza dei vari piani quali collegamenti risultano più sollecitati.

Sono stati stilati grafici per ogni ascensore in esame per ogni piano (145,150,155,160) e stesso discorso per le scale.



**Figura 3.12 Percentuale di utilizzo ascensori per piano**



**Figura 3.13 Percentuale di utilizzo scale per piano**

Dall'osservazione del grafico 3.12 e grafico 3.13 è emerso che l'ascensore principale è molto richiesto per il tratto che va da 145 a 155, mentre per l'ascensore secondario non ha un evidente stacco tra i due piani che serve. Per quanto concerne le scale possiamo vedere un dato più significativo rispetto agli ascensori: la rampa tra 145 e 150 è stata scelta per circa il 40% dei casi. Potrebbe essere dettato dalla sua posizione vicino al punto di inizio/fine percorso o perché l'alternativa non è del tutto comoda per raggiungere il punto di destinazione.

Perché scegliere due collegamenti differenti in una stessa prova?

Si è provato a rispondere a questa domanda ipotizzando due motivazioni a tale proposito:

- è stata una scelta dettata dal fatto che il collegamento scelto non arrivasse al piano di arrivo concordato; oppure
- per libero gusto di usufruire di due collegamenti differenti e di conseguenza per nessuna motivazione.

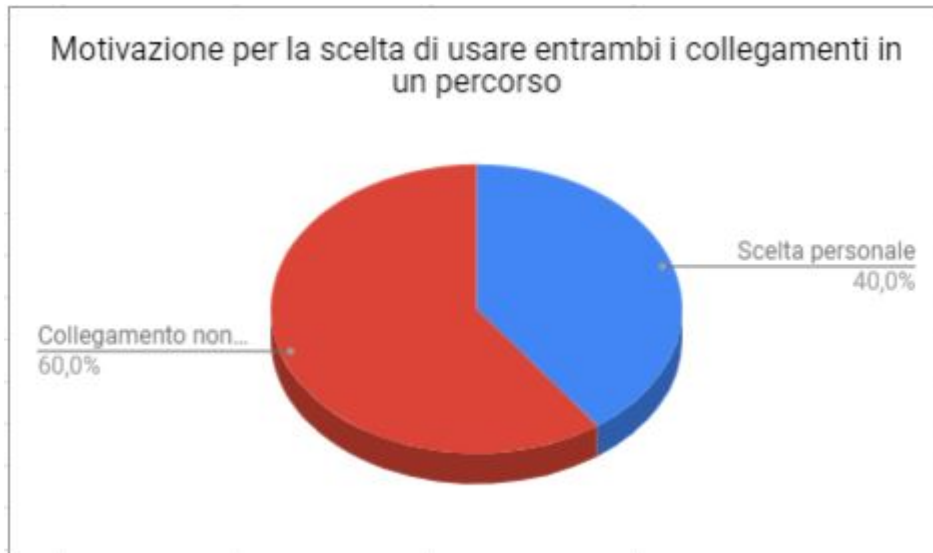


Figura 3.14 Motivazione per la scelta di percorrere entrambi i collegamenti

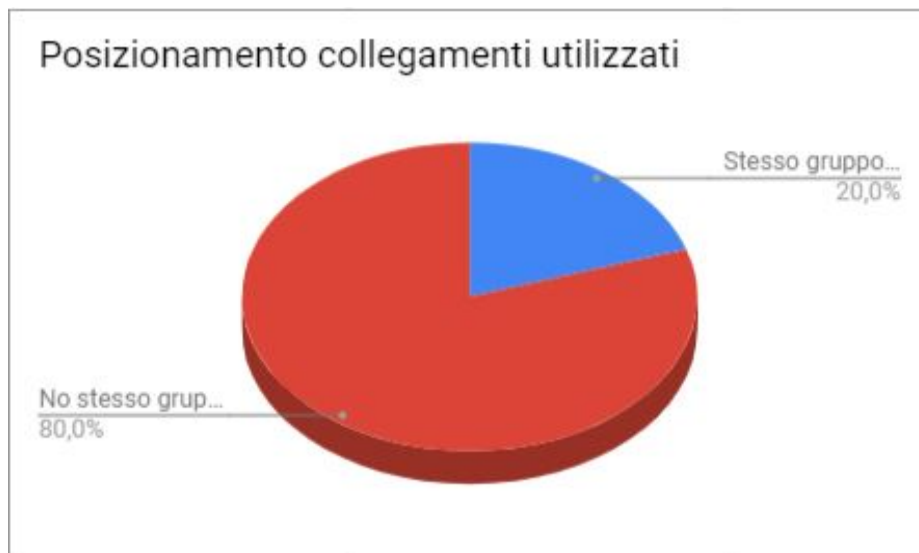


Figura 3.15 Posizionamento dei collegamenti utilizzati in ogni percorso

Ne consegue che il 40% del campione non lega la sua scelta a una impossibilità pratica di raggiungere il punto di destinazione con un unico collegamento, mentre, probabilmente il 60% delle persone si trovano ad affermare tale motivazione. Infatti dal successivo grafico è netto l'utilizzo di due collegamenti posizionati a una certa distanza uno dall'altro e non facenti parte di uno stesso gruppo di scale ascensori.

### 3.3.3 Analisi dei questionari

Attraverso l'analisi dei questionari, compilati a termine di ogni prova dai partecipanti, sono emerse altre informazioni sulla scelta del percorso.

Il quesito che riesce a restituirci più informazioni rilevanti è: con quale criterio è stato scelto il percorso della prova (figura 3.16).

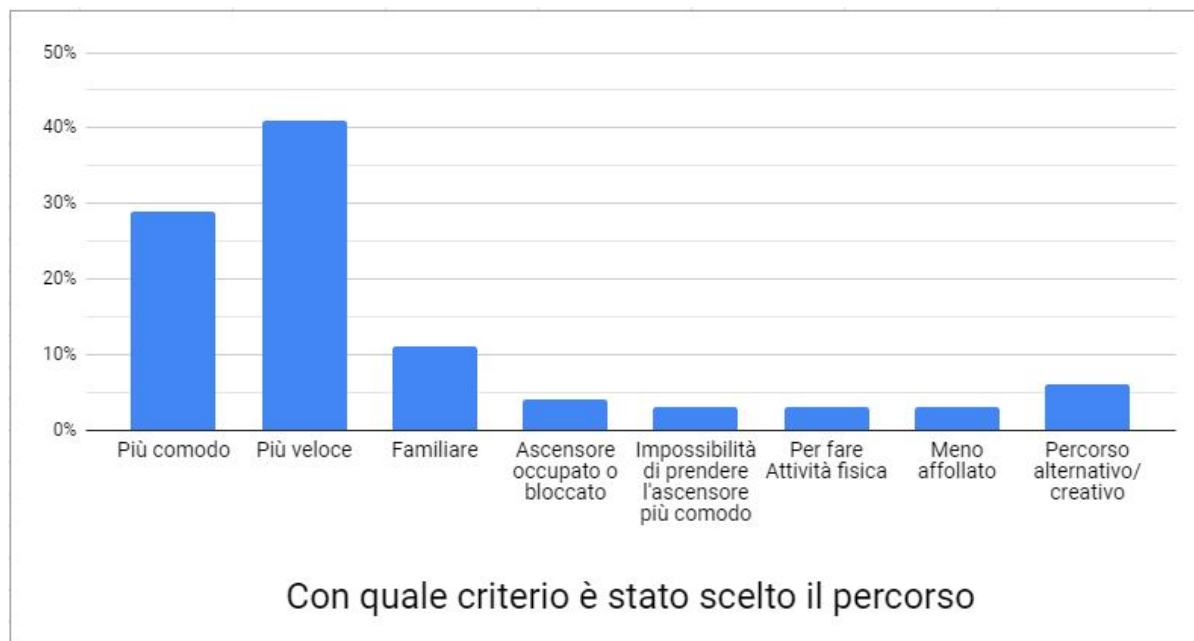
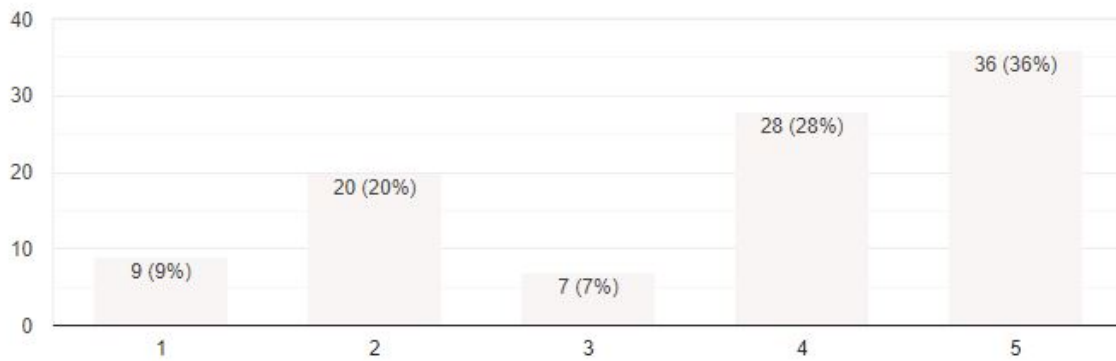


Figura 3.16 Motivazione alla scelta del percorso

La maggioranza delle persone, il 41,4% ha scelto di compiere il percorso più veloce. Interessanti sono state le altre motivazioni raggruppate nell'opzione di risposta altro:

- Percorso più familiare;
- Ascensore occupato o bloccato, quindi non si ha la possibilità di sceglierlo;
- Impossibilità di prendere l'ascensore a me più comodo, perché non previsto il suo utilizzo durante questa prova;
- Per fare attività fisica;
- Percorso meno affollato;
- Percorso alternativo/creativo.

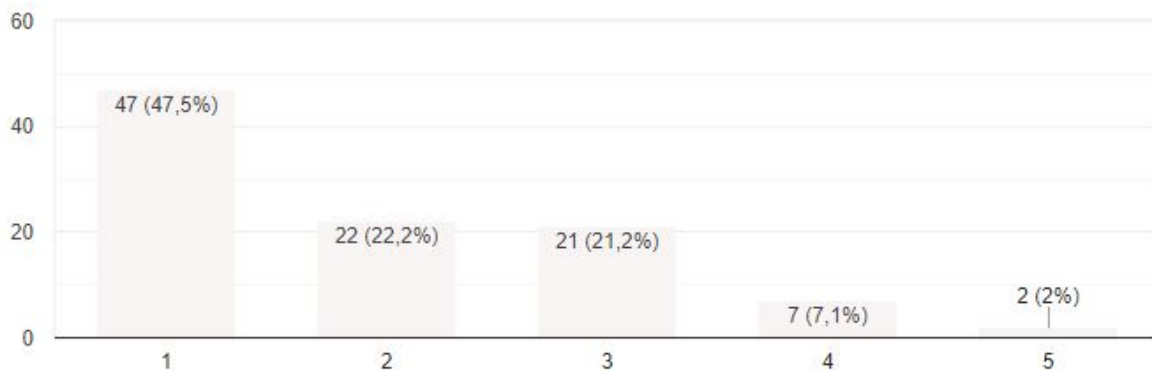
Si può integrare la risposta "percorso più familiare" al quesito precedente, riportando il grafico 3.17, in cui si evidenzia l'abitudine o meno nell'eseguire lo stesso percorso scelto nella persona:



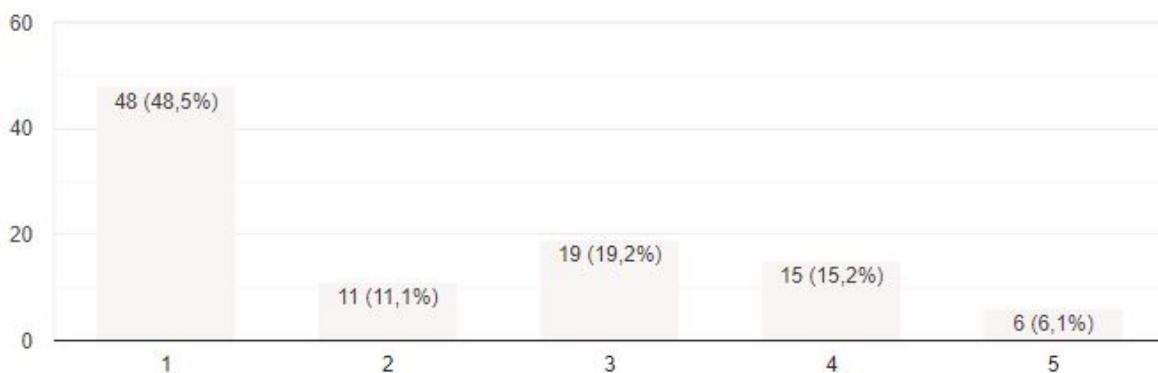
**Figura 3.17** Frequenza di esecuzione del percorso della prova

Il grafico ha una scala da 1 a 5, i cui valori corrispondono rispettivamente a mai fatto e molto spesso. Si può notare che oltre il 50% delle persone (colonna 4 e colonna 5), è solita fare il percorso della prova.

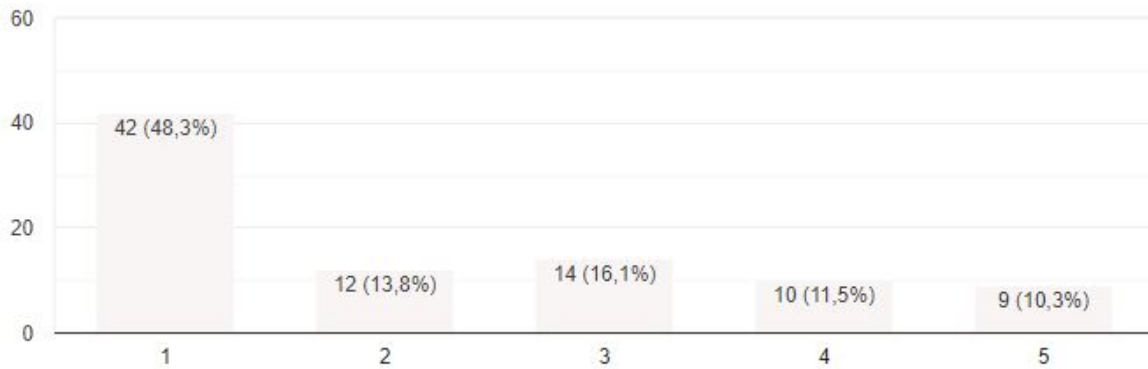
Risulta invece influente ai fini della prova la considerazione dell'affollamento degli ambienti limitrofi a scale (grafico 3.18) e ascensori (grafico 3.19), la posizione dell'ascensore riportato sul display (grafico 3.20).



**Figura 3.18** Affollamento delle scale

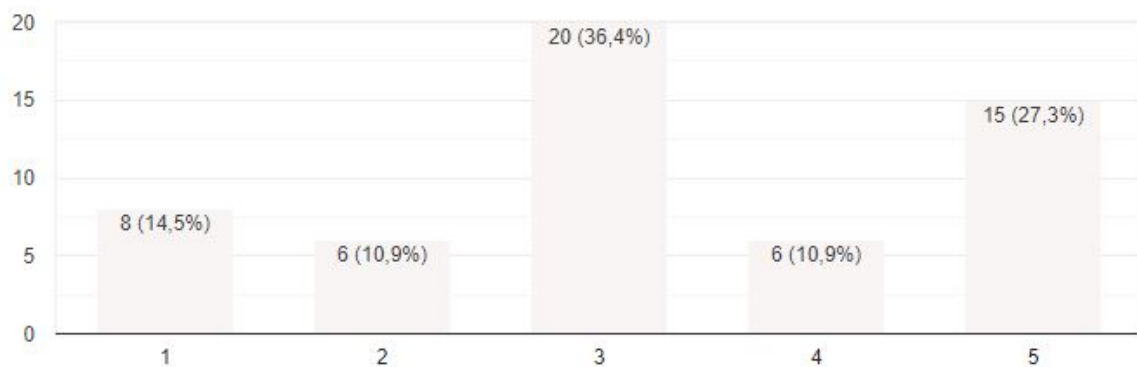


**Figura 3.19** Affollamento delle aree limitrofe agli ascensori



**Figura 3.20 Posizione dell'ascensore rilevato sul display luminoso**

L'ultima domanda ha fatto emergere che l'opinione del partecipante 'capo-gruppo' non è stata rilevante ai fini della decisione del percorso da intraprendere (figura 3.21).



**Figura 3.21 Influenza dell'opinione di un partecipante sulla scelta del gruppo**

### 3.4 Risultati dell'analisi delle prove con Eye-Tracking

Le prove con il supporto della strumentazione Eye-Tracking, sono state eseguite con le stesse modalità delle prove per il monitoraggio dei flussi degli occupanti.

Ogni partecipante ha indossato gli occhiali e ha svolto il proprio percorso.

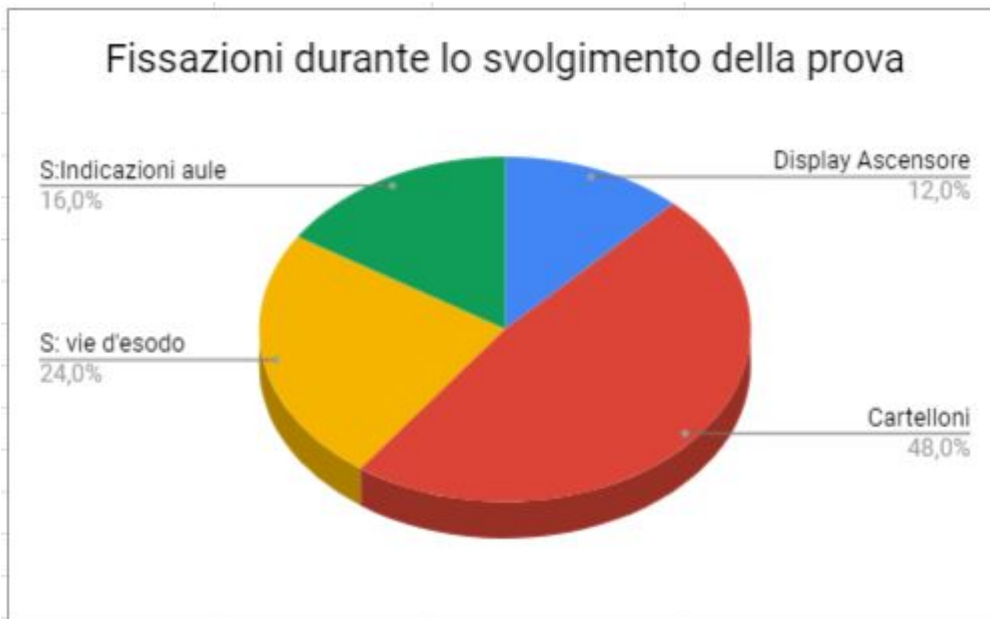
I risultati ottenuti, dopo aver analizzato i 20 video-audio restituiti dalla strumentazione, sono stati riassunti in una tabella, in cui si interroga sui seguenti quesiti:

- Scelta dell'utilizzo degli ascensori durante la prova;
- Scelta dell'utilizzo delle scale durante la prova;
- Motivazione della scelta fatta tra l'utilizzo delle scale e l'utilizzo dell'ascensore: è stato possibile interrogare direttamente i partecipanti durante i test, ma anche tramite l'analisi degli audio derivanti dalla strumentazione Eye-Tracking;

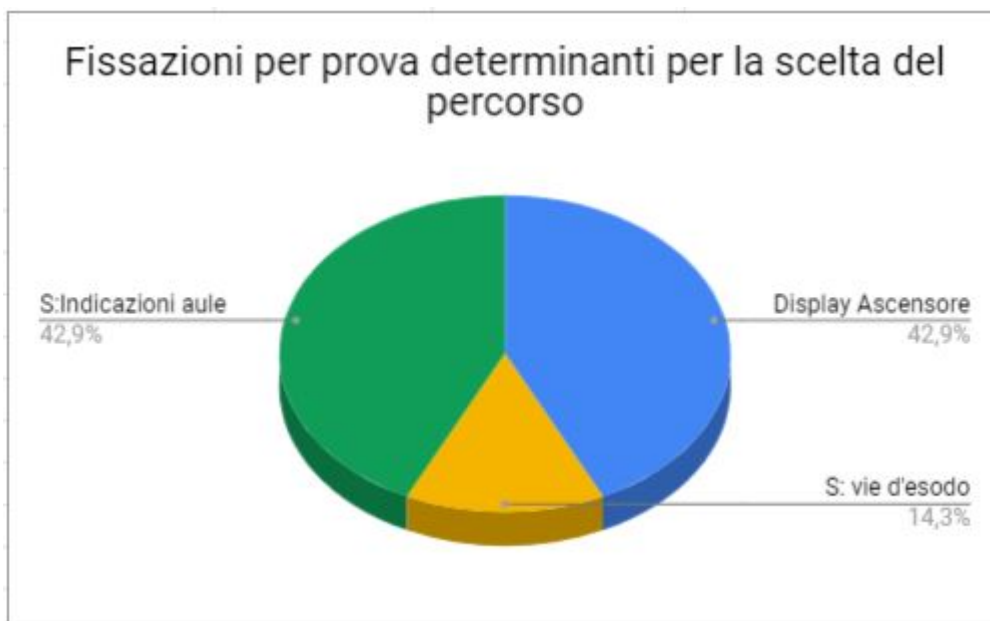


- quali sono i possibili punti che i partecipanti hanno fissato (per fissazione intendiamo il momento in cui la persona sta guardando in maniera persistente uno stesso punto) durante il percorso da loro scelto:
  - Display ascensore: i partecipanti hanno fissato il display dell'ascensore;
  - Affollamento scale: la libera fruizione del tragitto scelto è ostacolato dalla presenza di molte persone lungo le scale;
  - Affollamento ascensore: la libera fruizione del tragitto scelto è ostacolato dalla presenza di molte persone in prossimità dell'ascensore;
  - Cartelloni e manifesti: fissazione verso i cartelloni e i manifesti applicati sulle pareti;
  - Segnaletica / vie di uscita: fissazione verso la segnaletica che individua le vie di uscita;
  - Segnaletica / indicazioni aule: fissazione verso la segnaletica che individua la posizione delle aule.
- Indecisione nella scelta del percorso: specificare se durante il percorso ci sono stati dei ripensamenti o indecisioni nel scegliere una via invece che un'altra;
- Motivazione dell'indecisione: specificare la motivazione che rende il/i partecipante/i indeciso/i;
- Individuazione corretta del punto di arrivo: dall'analisi dei video, contrassegnare i partecipanti che hanno raggiunto punti di arrivo differenti dal punto di arrivo imposto dalla procedura della prova.

I risultati vengono rielaborati nei seguenti grafici:

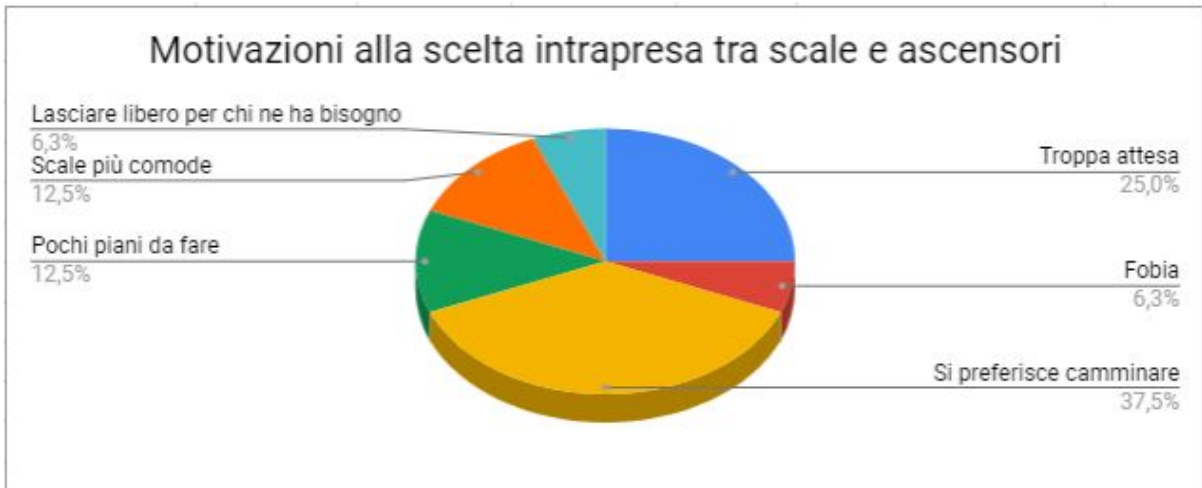


**Figura 3.22** Percentuale di elementi fissati dai partecipanti



**Figura 3.23** Percentuale di fissazioni di elementi determinanti per la scelta del percorso

È stato possibile raggruppare le motivazioni che hanno spinto i partecipanti a non prendere gli ascensori:



**Figura 3.24** Motivazioni dei partecipanti che non hanno utilizzato ascensori



**Figura 3.25** Motivazioni che hanno spinto i partecipanti ad essere indecisi

# Bibliografia

- A Fioravanti, G Loffreda, D Simeone, A Trento. «"Divide et Impera" to dramatically and consciously simplify design. The mental/instance path-How reasoning among spaces, components and goals.» In *Digital Physicality. vol. 1, Proceedings of eCAADe Conference*, 269-278. Prague, 2012.
- Bernardini, Gabriele. «Sviluppo di un modello comportamentale per l'analisi dell'evacuazione post-sisma.» 2011.
- Bonabeau, Eric. *Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems* (2002).  
*developer.estimote.com*. <https://developer.estimote.com/how-beacons-work/>.
- Enrico, Mandolesi. *Edilizia vol.1*. Milano: Hoepli, 1978.
- John, Casti. *Would-be worlds: how simulation is changing the world of science*. New York: Wiley, 1997.
- «Manutenzione - Definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria.» *UNI 11063*. 02 Febbraio 2017.
- Merriam-Webster. *Merriam-Webster.com*. 2011. (consultato il giorno 04 2011, 22).  
*piemonte.abbonamentomusei.it*. <https://piemonte.abbonamentomusei.it/News/La-nuova-App-del-Museo-del-Risorgimento>.
- Simeone, Davide. *Simulare il comportamento umano negli edifici*. Gangemi Editore, 2015.  
«TobiiStudio 3.2, UserManual.» 2012.  
*torino.diariodelweb.it*. [https://torino.diariodelweb.it/torino/articolo/?nid=20151117\\_365751](https://torino.diariodelweb.it/torino/articolo/?nid=20151117_365751).
- Trabucco, Dario, Elena Giacomello, e Federica Dolores Alberti. *L'ascensore in architettura. Progettazione, dimensionamento, normativa e casi studio*. 2018.  
«UNI 10838:1999.» *Edilizia - Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia*. 31 Ottobre 1999.
- «UNI 11257.» *Manutenzione dei patrimoni immobiliari - Criteri per la stesura del piano e del programma di manutenzione dei beni edilizi - Linee guida*. 15 Novembre 2007.
- «UNI EN 13306.» *Manutenzione - Terminologia di manutenzione*. 08 Febbraio 2018.
- «UNI8290.» *Edilizia residenziale del sistema tecnologico - classificazione e terminologia*. 01 Settembre 1981.
- Wei, Yan. «Simulating Users' Behavior in Built Environments.» Berkeley, 2005.
- Bechtel, James. 2012. "Condition Based Maintenance : A Survey."  
<https://doi.org/10.1108/13552511211281552>.
- Bengtsson, Marcus. 2004. *CONDITION BASED MAINTENANCE SYSTEMS – AN INVESTIGATION OF TECHNICAL CONSTITUENTS AND ORGANIZATIONAL ASPECTS*.
- Chen, Z. S., Y. M. Yang, and Zheng Hu. 2012. "A Technical Framework and Roadmap of Embedded Diagnostics and Prognostics for Complex Mechanical Systems in Prognostics and Health Management Ssystems." *IEEE Transactions on Reliability* 61 (2): 314–22.  
<https://doi.org/10.1109/TR.2012.2196171>.
- Ebeling, T. 2011. "Condition Monitoring for Elevators □ An Overview." *Lift Report* 6: 25–26.
- Esteban, Ekaitz, Mondragon Unibertsitatea, Aitzol Iturrospe, Mondragon Unibertsitatea, and Oscar Salgado. 2013. "Vibration-Based Condition Monitoring for Residential Lifts," no. September 2017.
- Esteban, Ekaitz, Mondragon Unibertsitatea, Oscar Salgado, Aitzol Iturrospe, and Mondragon Unibertsitatea. 2014. "Advances in Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations," no. September 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39348-8>.

- Gruber, Aviv, Shai Yanovski, and Irad Ben-Gal. 2013. "Condition-Based Maintenance via Simulation and A Targeted Bayesian Network Metamodel." *Quality Engineering* 25 (4): 370–84. <https://doi.org/10.1080/08982112.2013.819436>.
- Hashemian, H. M. 2010. "State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 60 (1): 226–36. <https://doi.org/10.1109/tim.2010.2047662>.
- Kothamasu, Ranganath, Samuel H Huang, William H Verduin, R Kothamasu, -S H Huang, and W H Verduin. 2006. "System Health Monitoring and Prognostics -a Review of Current Paradigms and Practices Maintenance Strategies and Motivations for Health Monitoring." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28: 1012–24. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_14).
- Lee, Jay. 1998. "Teleservice Engineering in Manufacturing: Challenges and Opportunities." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 38 (8): 901–10. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(97\)00135-1](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(97)00135-1).
- Niu, Gang, Sun Soon Lee, Bo Suk Yang, and Soo Jong Lee. 2008. "Decision Fusion System for Fault Diagnosis of Elevator Traction Machine." *Journal of Mechanical Science and Technology* 22 (1): 85–95. <https://doi.org/10.1007/s12206-007-1010-0>.
- O'Brien, William, Isabella Gaetani, Salvatore Carlucci, Pieter-Jan Hoes, and Jan L.M. Hensen. 2017. "On Occupant-Centric Building Performance Metrics." *Building and Environment* 122 (September): 373–85. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.06.028>.
- Schuh, Günther, Gunther Reinhart, Jan-Philipp Prote, Frederick Sauermann, Julia Horsthofer, Florian Oppolzer, and Dino Knoll. 2019. "Data Mining Definitions and Applications for the Management of Production Complexity." *Procedia CIRP* 81 (January): 874–79. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2019.03.217>.
- Shin, Jong-Ho, and Hong-Bae Jun. 2015. "On Condition Based Maintenance Policy." *Journal of Computational Design and Engineering* 2 (2): 119–27. <https://doi.org/10.1016/J.JCDE.2014.12.006>.
- Sun, Bo, Shengkui Zeng, Rui Kang, and Michael Pecht. 2010. "Benefits Analysis of Prognostics in Systems." *2010 Prognostics and System Health Management Conference, PHM '10*, no. February. <https://doi.org/10.1109/PHM.2010.5413503>.
- Tabak, V, B De Vries, and J Dijkstra. 2004. "User Behaviour Modelling." *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, 141–56.
- Tobon-Mejia, Diego Alejandro, Kamal Medjaher, Nouredine Zerhouni, and Gerard Tripot. 2012. "A Data-Driven Failure Prognostics Method Based on Mixture of Gaussians Hidden Markov Models." *IEEE Transactions on Reliability* 61 (2): 491–503. <https://doi.org/10.1109/TR.2012.2194177>.
- Xu, Li Da, Wu He, and Shancang Li. 2014. "Internet of Things in Industries: A Survey." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 10 (4): 2233–43. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>.
- Yan, Jihong, Muammer Koç, and Jay Lee. 2004. "A Prognostic Algorithm for Machine Performance Assessment and Its Application." *Production Planning and Control* 15 (8): 796–801. <https://doi.org/10.1080/09537280412331309208>.
- Zimmermann, Gerhard. 2007. "Modeling and Simulation of Individual User Behavior for Building Performance Predictions." *Proceedings of the 2007 Summer Computer Simulation Conference*, no. January 2007: 913–20. <https://doi.org/10.1145/1357910.1358052>.