

Tesi di Laurea Magistrale in  
Ingegneria Informatica

Dibris

Monitoraggio di flussi e  
densità pedonale presso  
aree congestionabili  
mediante sensori innovativi

---

Gianluca Ceccoli

**Relatore:**

Chiar.<sup>mo</sup> Prof. Roberto Sacile

**Correlatore:**

Dott. Luca Zero

Anno accademico 2018/2019



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI GENOVA



# Indice

---

- Obiettivi e motivazioni
- Stato dell'arte
- Wi-Fi
- Architettura proposta
- Applicazione al caso di studio
- Considerazioni finali
- Sviluppi futuri

# Obiettivi e motivazioni

- Segnalazione di congestione pedonale in luoghi ristretti
  - Prevenzione di situazioni pericolose causate da sovraffollamenti
  - Classificazione traffico pedonale in tre livelli di affollamento: libero, affollato, a rischio
  - Realizzazione e installazione di un sistema di monitoraggio pedonale tramite Wi-Fi



- **Videocamere**

- Registrano immagini RGB o in scala di grigio
- Rilevazione del foreground: frame differencing / background subtraction
- Livello macroscopico. Soluzioni a problemi di tipo ROI (Region of Interest)
- Precisione cala con grandi masse
- Problemi di privacy
- Problemi estetici e funzionali di posizionamento (occlusioni/illuminazione)



# Stato dell'arte

- **Videocamere stereoscopiche**

- Registrano immagini RGB o in scala di grigio
- Livello microscopico. Soluzioni a problemi di tipo LOI (Line of Interest)
- Stessi lati negativi delle videocamere
- Posizionamento sulla verticale dei varchi
- Poco applicabile ad un ambiente aperto con molteplici vie di fuga



# Stato dell'arte

- **Laser e infrarossi**
  - Livello microscopico. Soluzioni a problemi di tipo LOI (Line of Interest)
  - Non sono necessarie immagini ad alta risoluzione. Computazione alleggerita
  - Più accessibili. Soluzioni sul mercato



- **Sniffer Wi-Fi**

- Intercettazione passiva dei dati che transitano sulla rete (wireless)
- Agisce contando il numero di indirizzi MAC
- Alternativa alle videocamere per problemi ROI ma anche per misure sui flussi
- Basso costo, discreto, nessun problema di occlusioni o cambi di illuminazione
- Va calcolato il tasso di rilevamento
- Misura grossolana ma comunque indicativa

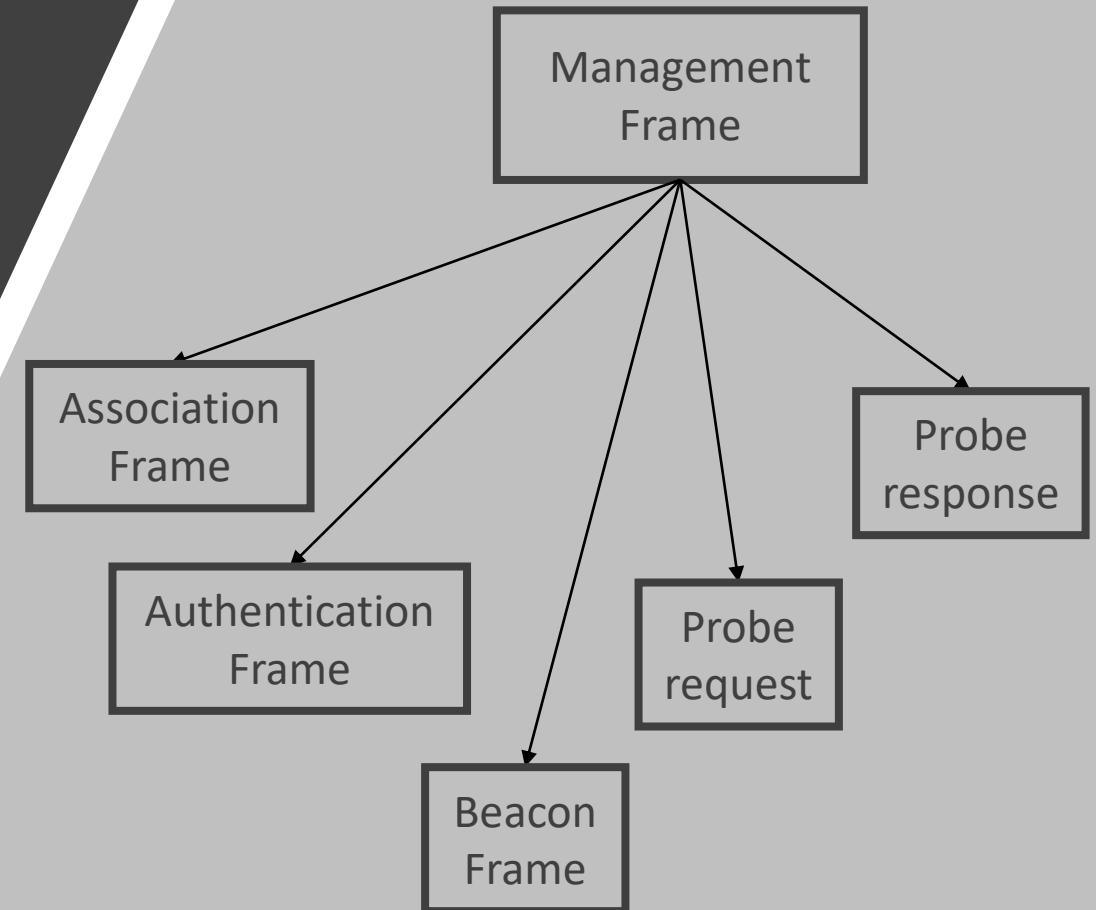


Lo standard IEEE 802.11 definisce 3 tipi di frame scambiati dai dispositivi Wi-Fi:

- Management Frame
- Control Frame
- Data frame

Esempi di Management Frame:

- Association frame
- Authentication frame
- Beacon frame
- Probe request
- Probe response



## Due tipi di ricerche delle reti wireless:

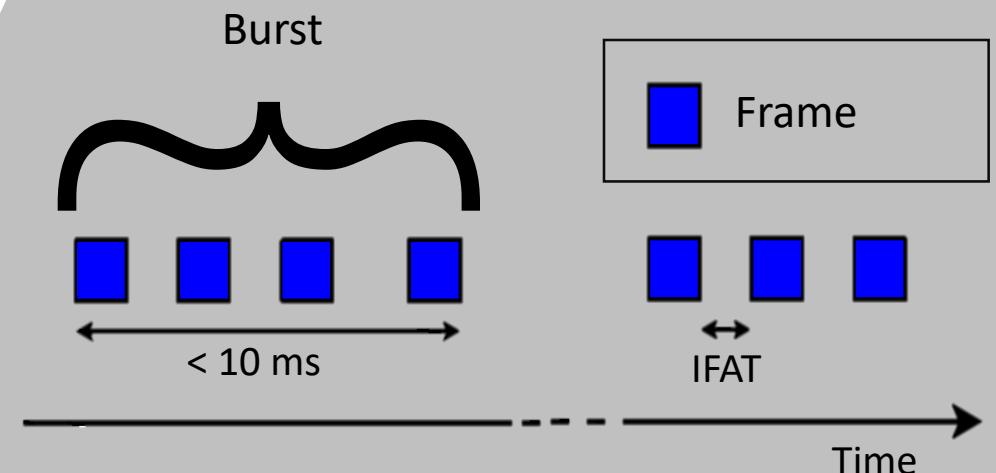
- Passive scanning (ascoltando i Beacon frame)
- Active scanning (inviando Probe request e attendendo Probe response)

## Beacon frame:

messaggi che gli AP (access point) inviano per segnalare la propria presenza e il proprio SSID

## Probe request:

richieste che i dispositivi inviano agli AP conosciuti o in maniera broadcast



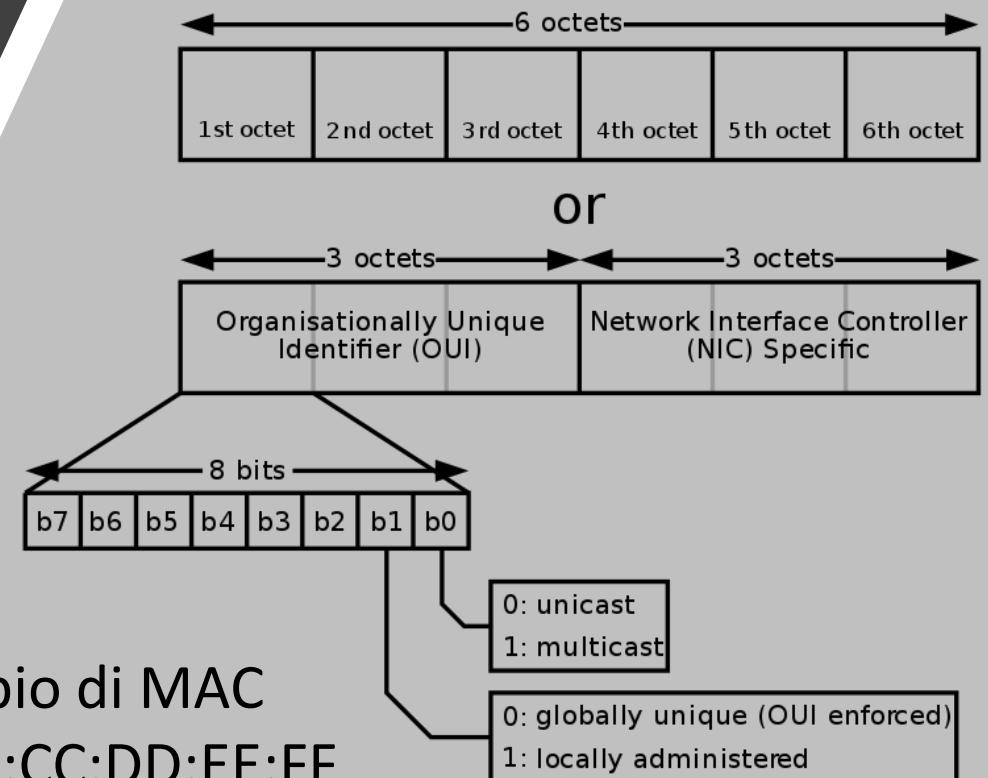
Informazioni contenute nelle Probe request:

- a) RSSI (Received signal strength indication)
- b) sequence number
- c) Information Elements
- d) indirizzo MAC

Source	Destination	Length	Info
1e:69:da:39:e9:7a	Broadcast	176	SN=912

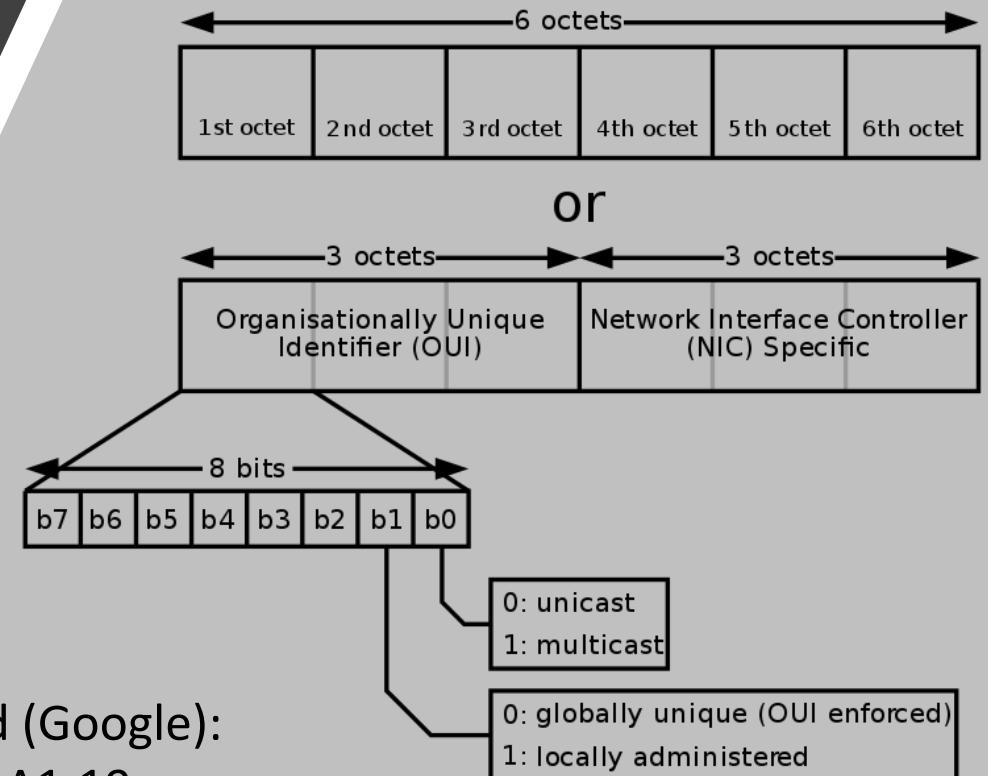
➤ Sniffing delle Probe request

- **MAC (Media Access Control):** Codice di 48 bit (6 byte) assegnato in modo univoco ad ogni scheda di rete, tuttavia modificabile tramite software
- IEEE assegna prefissi di 3 byte in cambio di una tassa (OUI, Organizationally Unique Identifier). I produttori sono liberi di assegnare univocamente i restanti 3 byte ai propri dispositivi



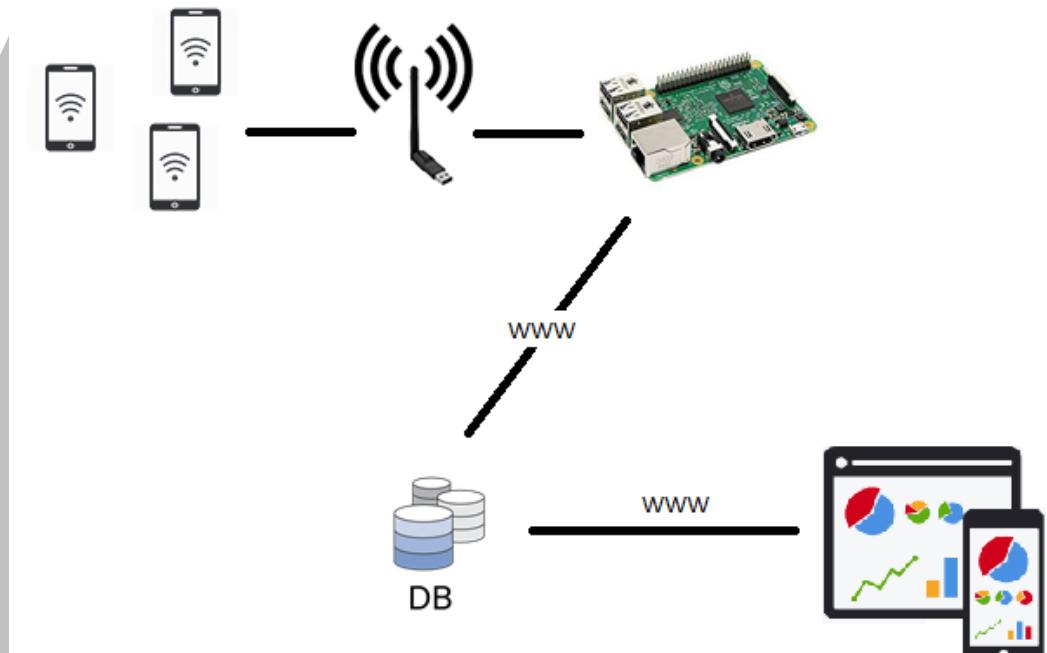
## Randomizzazione dell'indirizzo MAC:

- Misura di protezione per la privacy
- Impedisce il tracking
- Non esiste uno standard
- Ogni sistema operativo implementa la propria versione
  - Si riconosce per local bit asserito
  - CID (Company Identifier) analogo a OUI ma con local bit asserito.
  - Solo quando non connesso a una rete



# Architettura proposta

- Poche soluzioni commercializzate
- Sistema realizzato personalmente:
  - Raspberry Pi 3 b+ con ambiente Linux
  - Scheda di rete ALFA NETWORK AWUS036NH
  - Script di sniffing in Python
  - Database MySQL su server universitario
  - Applicazione web per visualizzazione dei dati



## Script di sniffing in Python:

- Due thread separati:
  - a) uno per sniffing tramite libreria Scapy
  - b) uno per invio periodico dei dati al db
- Derandomizzazione mediante algoritmo di **fingerprinting e aggregazione** su indirizzi (randomizzati) aventi la medesima impronta
- Tempo di decadimento dopo ultima rilevazione

## Fingerprinting

- Information Elements: dati contenuti nelle Probe request per segnalare agli AP le proprie caratteristiche fisiche
- Non sono obbligatori
- Lo standard 802.11 definisce che siano inclusi in ordine crescente
- Set di IE trasmessi, relativi valori e ordine di comparizione usati come fonte di discriminazione

Information Element	ID
Service Set Identity (SSID)	0
Supported Rates	1
Power Capabilities	33
HT Capabilities	45
Extended Supported Rates	50
Extended Capabilities	127
VHT Capabilities	191
Vendor ID	221

### Esempio di fingerprint:

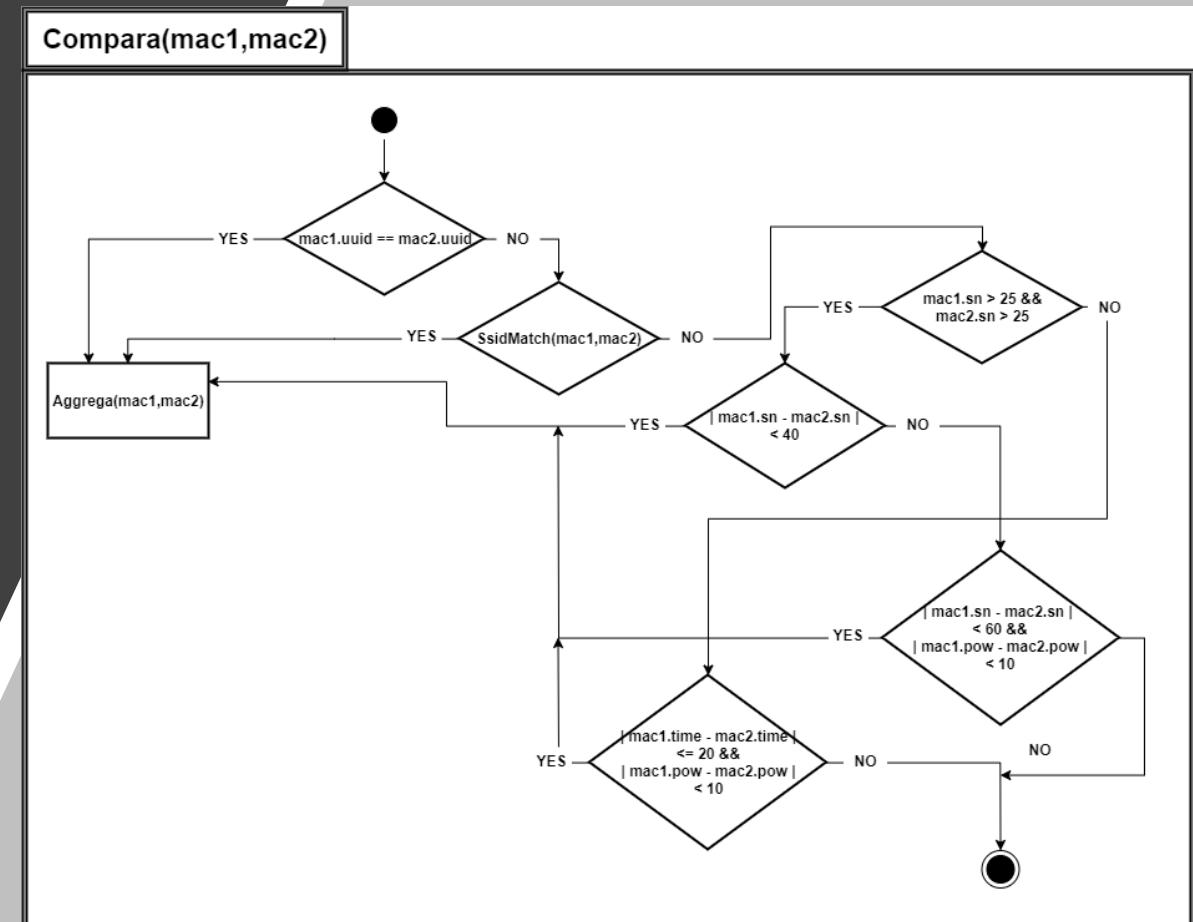
probe:0,1,50,3,45,127,107,255,221,221,221,221(0017F2,0A),221(0050F2,08),221(001018,02),htcap:2D40,htttag:1B,htmcs:ff000000000000000000,rates:02040B16,esrates:0C1218243048606C,extcap:0000088400000040

# Architettura proposta

## Aggregazione

Stabilire se due indirizzi MAC randomizzati aventi la stessa signature siano stati emessi dallo stesso dispositivo

- Impiego di sequence number, SSIDs, RSSI, timestamp
- Impiego delle Informazioni WPS (Wi-Fi Protocol Setup) tra cui UUID (Universally Unique Identifier) generato direttamente dal MAC



# Architettura proposta

## Modello dell'output

$$\tilde{x}(t) = x_1(t) + x_2(t)$$

$x_1(t)$  numero di Mac globali contati in  $[t, t+\Delta t]$ ,

$x_2(t)$  numero di Mac randomizzati aggregati in  $[t, t+\Delta t]$

Misura rumorosa, fonti di rumore:

- Accuratezza  $x_2$
- Dispositivi con Wi-Fi spento
- Dispositivi con Wi-Fi acceso ma non rilevabili
- Portata massima dello strumento o limiti dettati dall'architettura

## Modello adottato

$$\tilde{y}(t) = \alpha \tilde{x}(t) + \beta$$

Stima lineare, sufficiente a fornire la classificazione dei tre livelli di affollamento richiesta

➤  $\alpha, \beta$  da stabilire mediante minimi quadrati

$$\min_{\alpha, \beta} \sum_{t=0}^{t=T} (y(t) - \tilde{y}(t))^2$$

$y(t)$  ground truth, numero reale di persone

$T$  orizzonte di comparazione

# Architettura proposta

## Accuratezza nell'aggregazione dei Mac randomizzati

Test eseguito con 5 laptop. Randomizzazione circa ogni 15 secondi. Dataset di 934 randomizzazioni

Laptop	Aggregazioni rilevate	Accuratezza
Laptop1	133/191	69.6%
Laptop2	134/183	74.1%
Laptop3	165/196	84.2%
Laptop4	129/142	90.8%
Laptop5	170/222	76.6%
<b>Totale</b>	<b>733/934</b>	<b>78.5%</b>

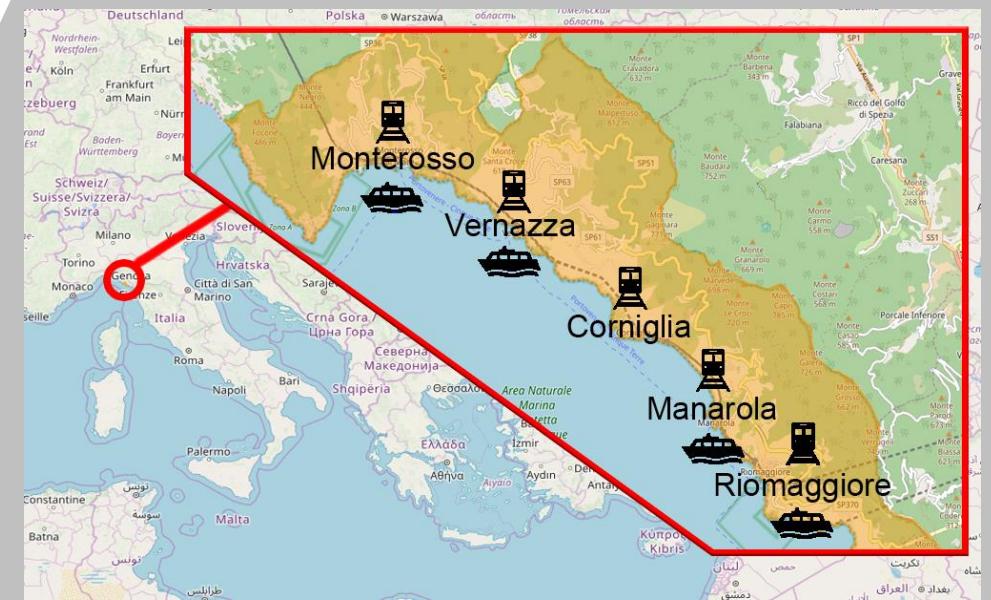
## Portata massima

- **Portata massima teorica:**
  - a) tempo medio di esecuzione di un ciclo: 15.8 ms
  - b) tempo di decadimento = 70 s,
  - c) Raggio  $\cong 40 \text{ m}$ , area  $\cong 5 \cdot 10^3 \text{ m}^2$  portata massima di  $\approx 4400$  dispositivi
- **Portata massima pratica:**
  - a) Sensore immerso in una folla enorme
  - Non valutata. Risultati pratici dalle 5 Terre indicano picchi di oltre 200 dispositivi unici

# Applicazione al caso di studio

## Cinque Terre

- Tratto di costa frastagliato della Riviera ligure di levante tra Levanto e La Spezia.
- Dal 1997 Patrimonio dell'Umanità
- Cinque borghi raggiungibili principalmente tramite traghetto o ferrovia, collegati da sentieri o navette.
- Nei periodi di alta stagione non sono adatte a ricevere il turismo di massa che richiamano



# Monterosso

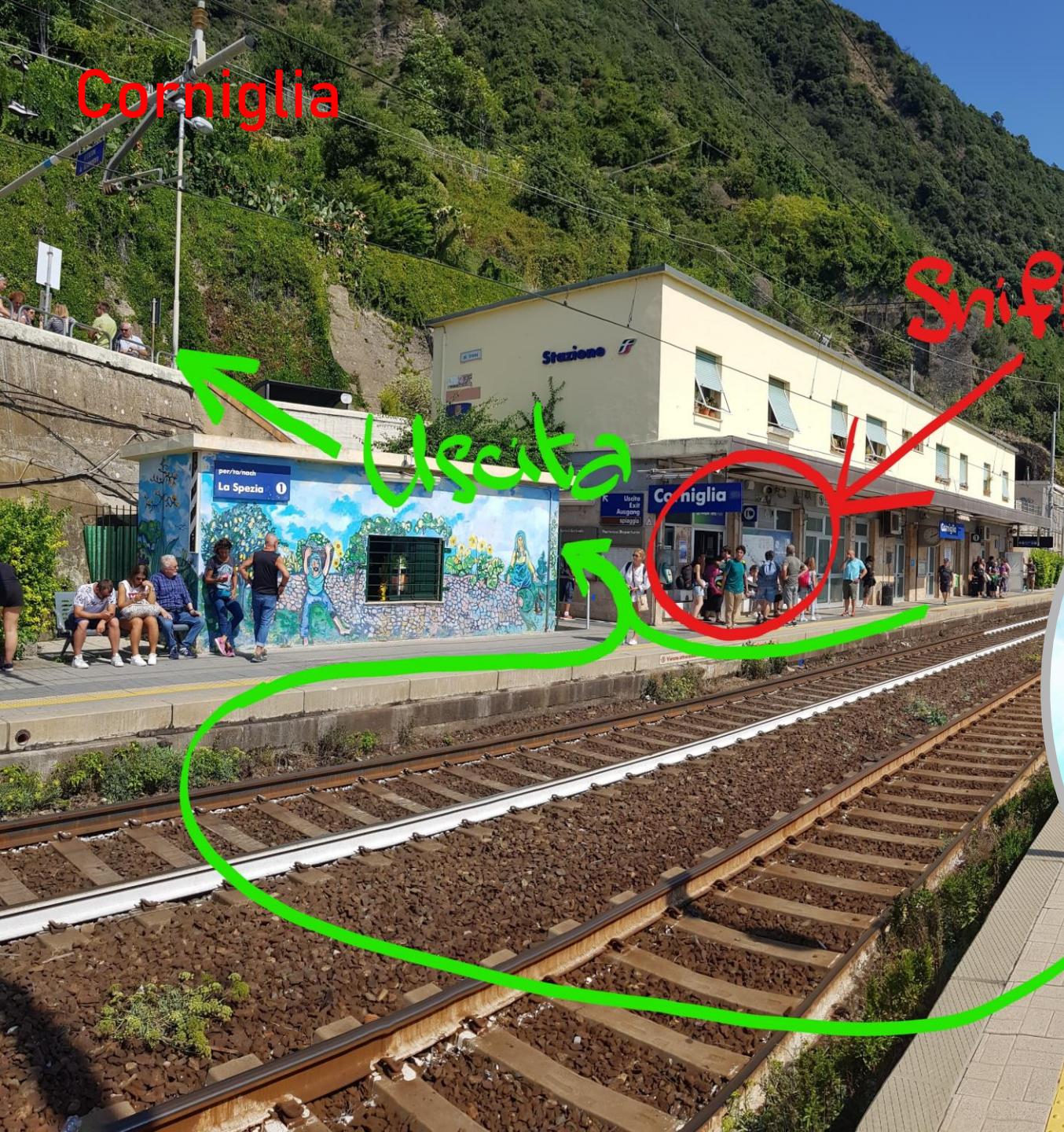


Monterosso

Vernazza



Corniglia



Sniffer

Uscita



Corniglia

Uscita

# Manarola



Sniffer

Uscita



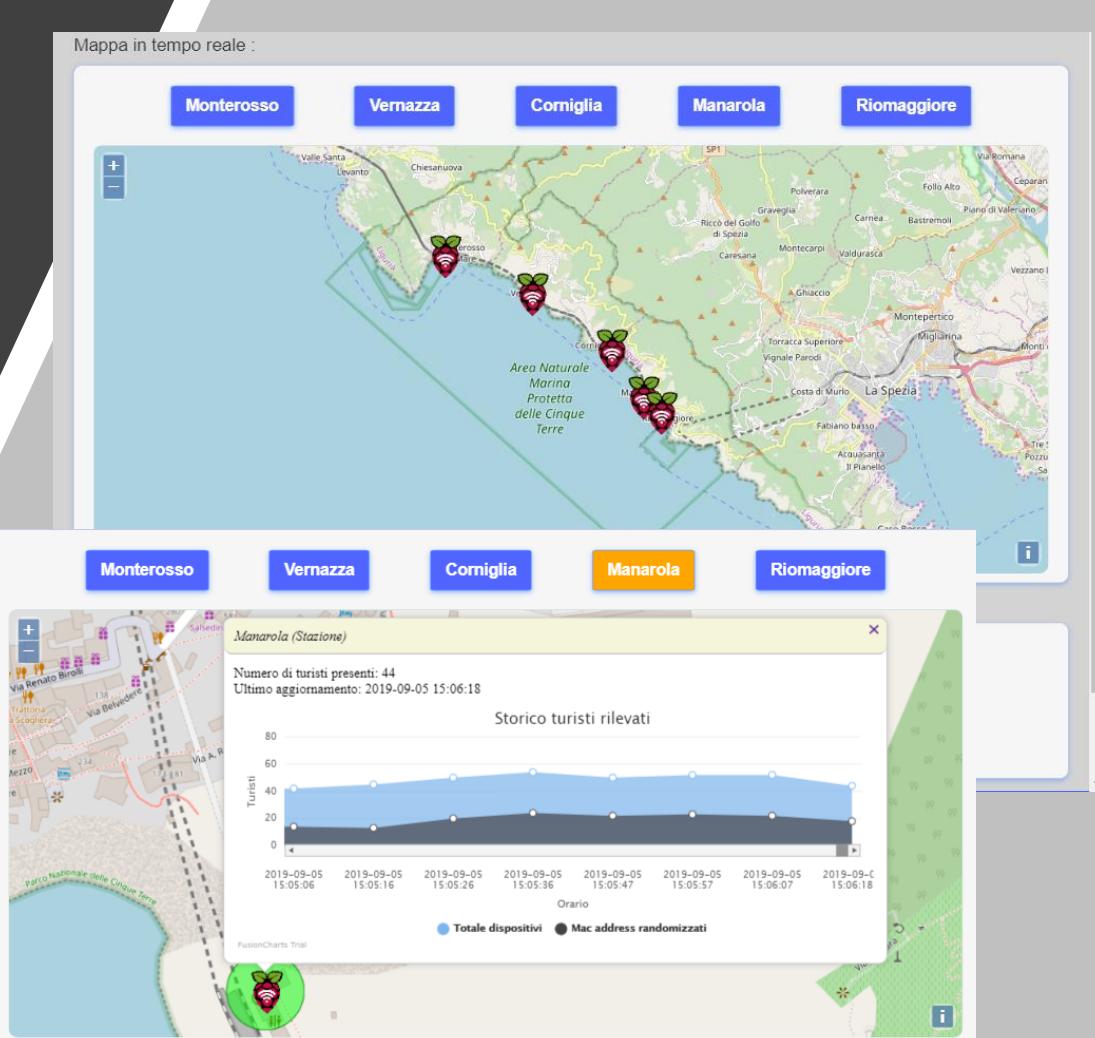
# Riomaggiore



# Applicazione al caso di studio

## Applicazione Web

- Mappa in OpenLayers 3
- Panoramica delle Cinque Terre con marker cliccabili in corrispondenza dei sensori
- Dettaglio dei marker con storico e area indicante lo stato di viabilità
- Aggiornamento periodico degli stati.  
L'utente vede il cambiamento di colore in automatico



# Applicazione al caso di studio

Dibris



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI GENOVA

## Applicazione Web

- Scheda per visualizzazione dati raccolti da un sensore a scelta durante un intervallo di tempo personalizzato
- Livello di dettaglio maggiore



# Considerazioni finali

- Modello semplice ma sufficiente a discriminare il traffico in tre classi di affollamento
- Sensori attivi h24
- Sistema online da relativamente poco tempo. I test effettuati sono sopralluoghi di persona per stabilire se i dati fossero coerenti con la situazione reale
- Stima lineare accettabile  $\alpha=1,35$   $\beta=0$
- Randomizzazione ha comunque delle falte
- Sarebbe opportuno ridurre il contenuto delle probe request evitando qualsiasi informazione non necessaria per impedire il fingerprinting
- Sarebbe opportuno azzerare il sequence number ad ogni cambio indirizzo.  
Relativamente pochi dispositivi lo fanno e sono molto più complessi da aggregare

# Sviluppi futuri

- Modulo previsionale basato sullo storico delle rilevazioni attualmente in corso, arricchendo il dataset con feature come meteo, giorno della settimana, festività e periodo dell'anno
- Applicazione web a disposizione degli utenti, non più esclusiva per i gestori del parco
- Informazione dei MAC globali per ricostruire gli itinerari più seguiti, tempi di percorrenza, di attesa, ecc...
- Più sensori per ogni paese per effettuare le misurazioni sopratticate anche all'interno dei borghi

Manarola, SP, Italia

Oggi  
poco trafficato



50 ▲  
0 ▼

Lun 4 nov  
poco trafficato



50 ▲  
0 ▼

Mar 5 nov  
traffico medio



150 ▲  
50 ▼

Mer 6 nov  
traffico intenso



300 ▲  
150 ▼



8-10 10-12 12-14 14-16 16-18 18-20

Monitoraggio di flussi e  
densità pedonale presso  
aree congestionabili  
mediante sensori innovativi

Dibris

Gianluca Ceccoli

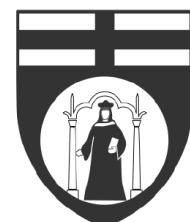
**Relatore:**

Chiar.<sup>mo</sup> Prof. Roberto Sacile

**Correlatore:**

Dott. Luca Zero

Anno accademico 2018/2019



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI GENOVA