



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Smart City e IoT: Tracciamento di Oggetti Mobili con LoRa

Presentata da: Massimo Giaccone

Relatore: Prof. Angelo Trotta

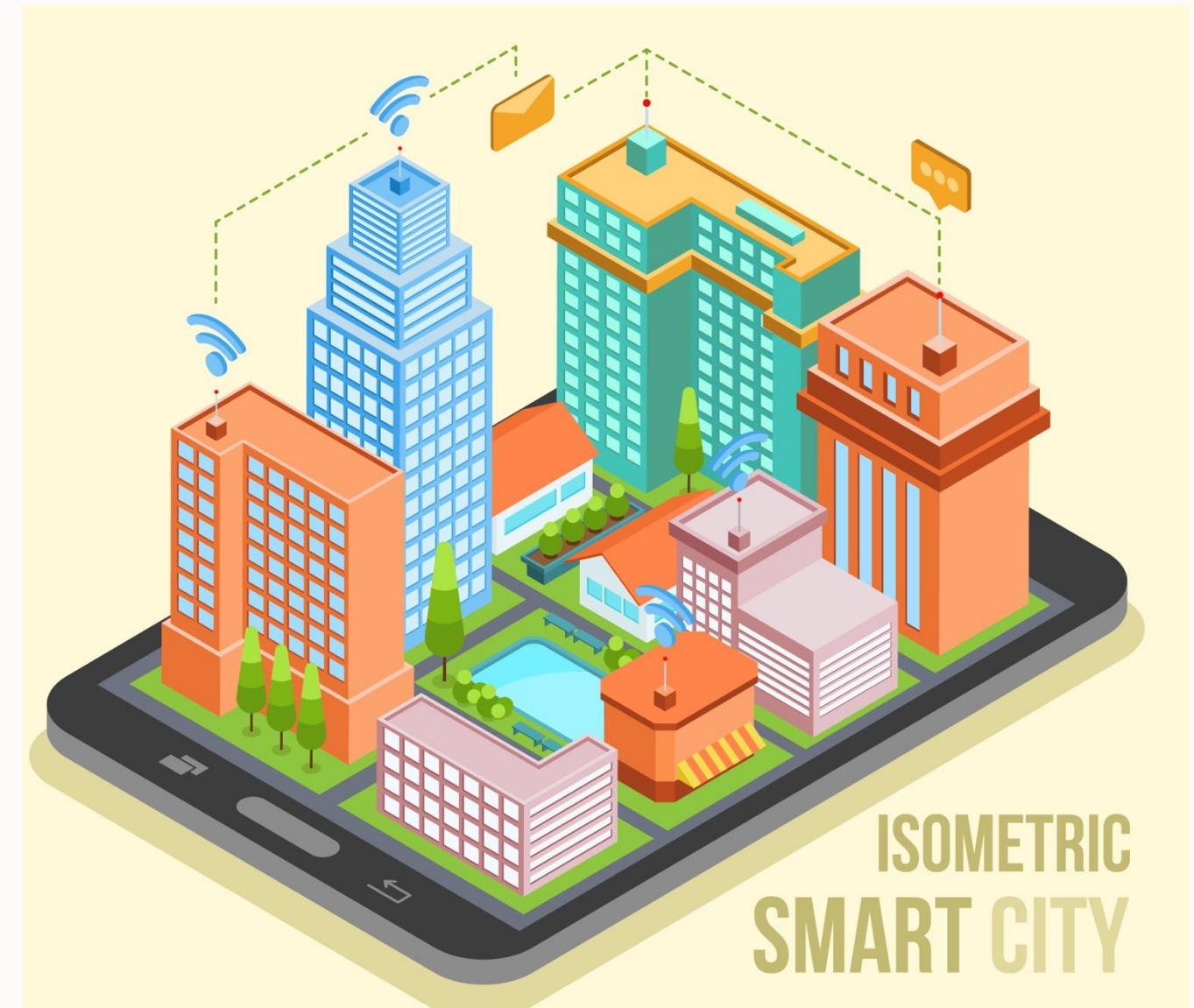
Correlatore: Prof. Federico Montori

Introduzione

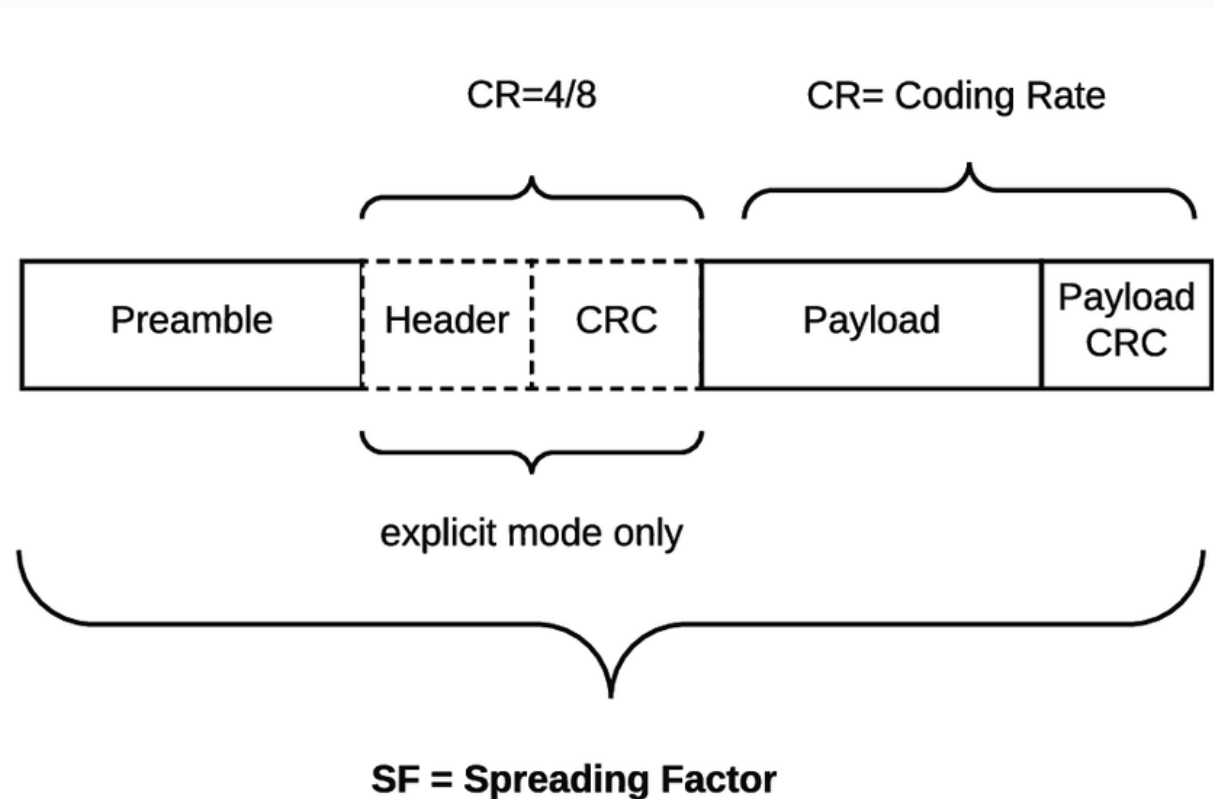
La diffusione delle **Smart City** e dell' **IoT** sta rivoluzionando la gestione urbana.

Un elemento chiave di questi ecosistemi è la capacità di comunicazione a lungo raggio, rilevante per un monitoraggio continuo di oggetti mobili in ampie aree geografiche.

In questo contesto, si propone un sistema di tracciamento basato sulla tecnologia **LoRa**, progettata per garantire una comunicazione affidabile a lungo raggio.



Panoramica della Tecnologia Tecnologia LoRa



1

Comunicazione a lungo
lungo raggio

LoRa utilizza la modulazione Chirp
Spread Spectrum per trasmettere
su lunghe distanze.

2

Basso consumo
energetico

Ideale per dispositivi IoT
alimentati a batteria con lunga
lunga durata.

3

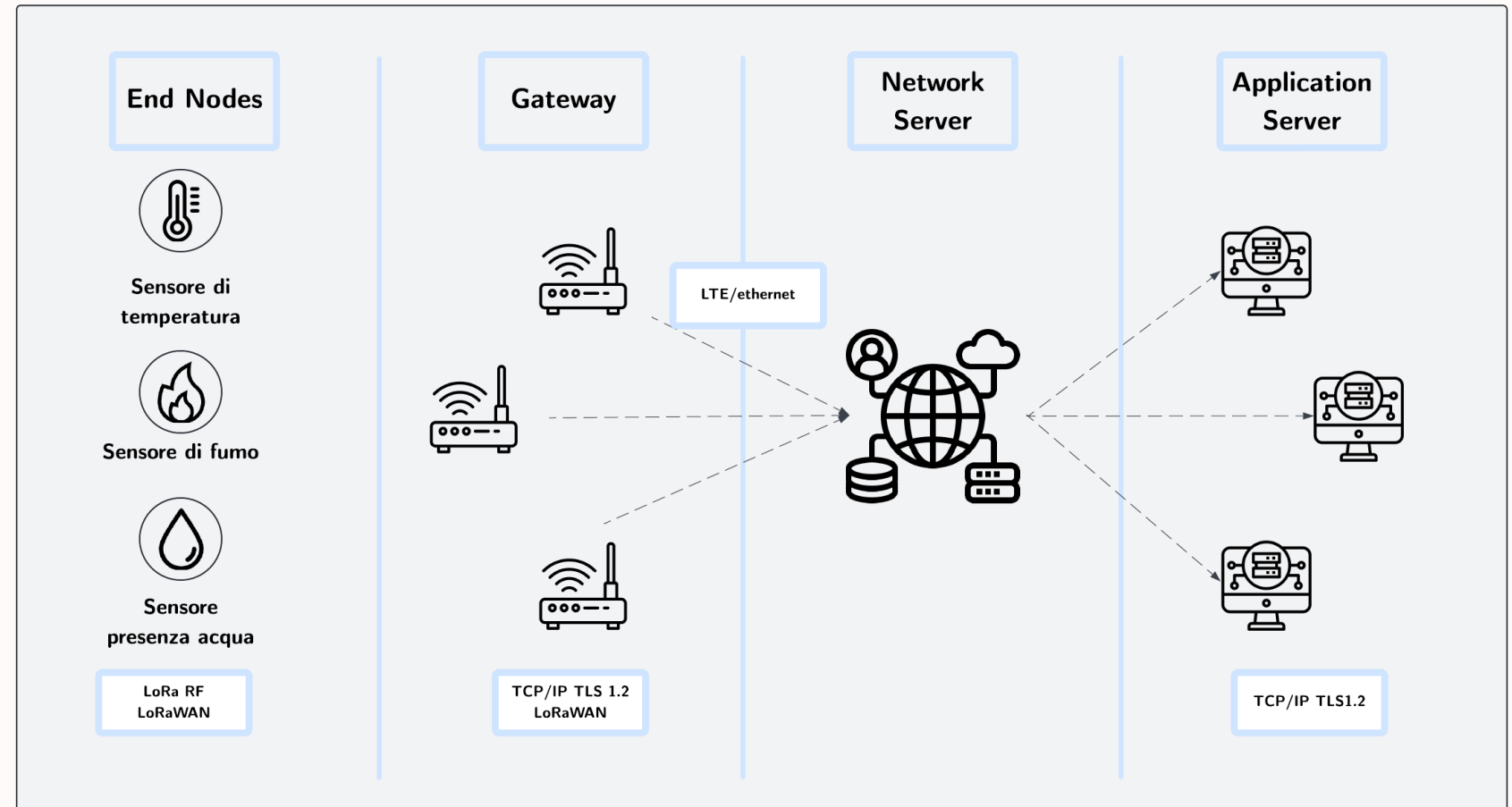
Banda ISM (Industrial, Scientific, Medical)

Opera nelle bande di frequenza 433 MHz e 868 MHz in Europa.

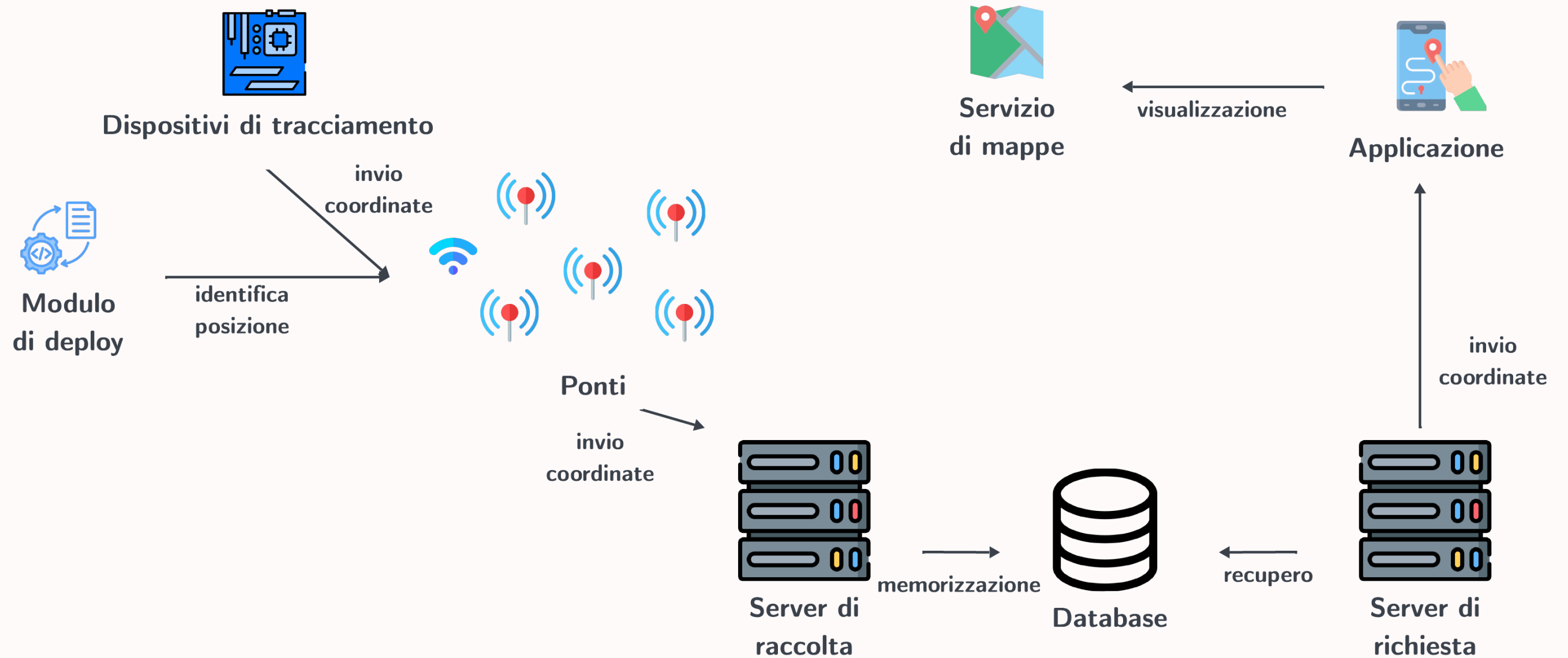
LoRaWAN

LoRaWAN è un protocollo di comunicazione basato su LoRa, che opera nello strato MAC dello stack OSI.

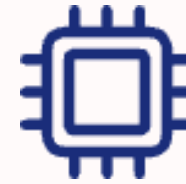
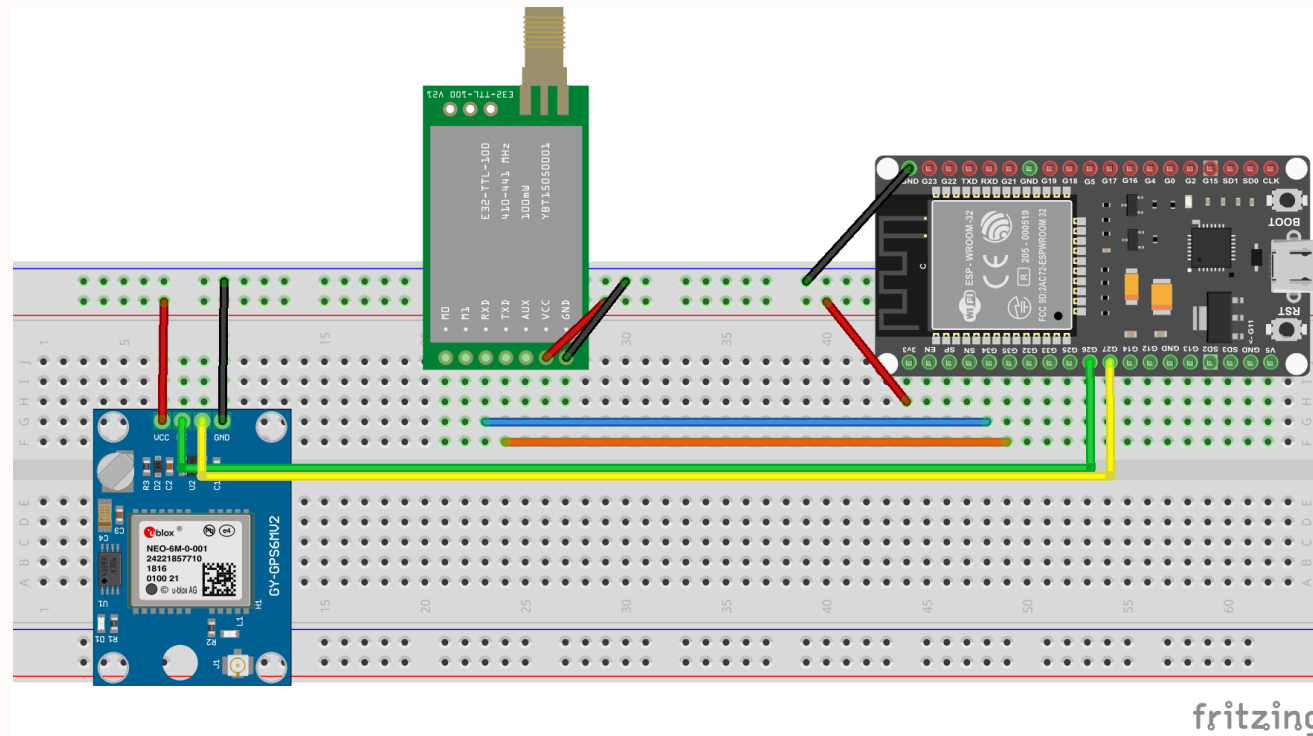
Questo protocollo definisce le modalità di accesso al canale e la gestione dei dispositivi IoT, in maniera da permettere a più dispositivi di condividere lo stesso mezzo di comunicazione senza interferire tra loro.



Architettura del Sistema



Implementazione: Microcontrollori e Sensori



ESP32

Microcontrollore versatile con Wi-Fi e Bluetooth integrati.



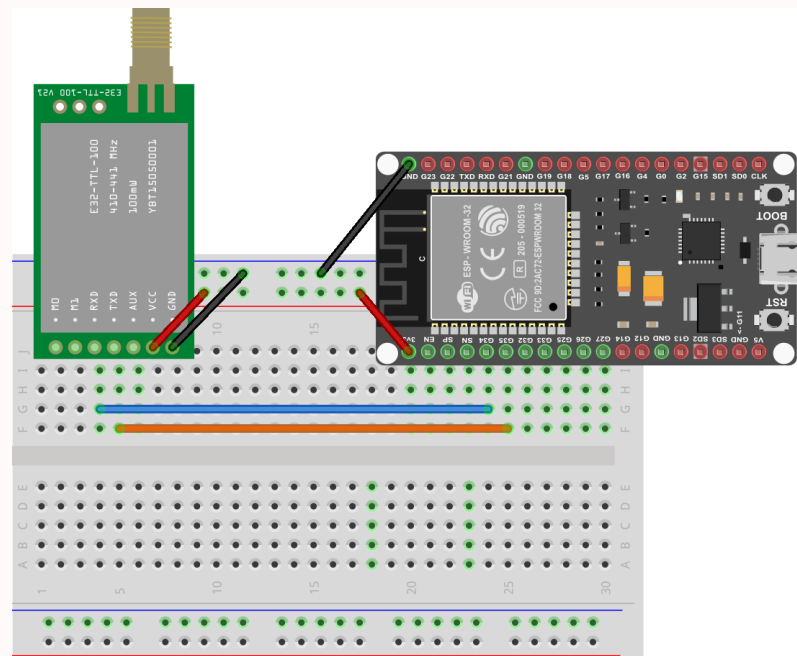
Modulo LoRa E32

Ricetrasmittitore a 433 MHz con antenna SMA per comunicazioni a lungo lungo raggio.



Modulo GPS NEO 6M

Modulo GPS per la localizzazione in tempo reale con precisione di 3m.



Implementazione: Modulo di deploy

Inizialmente sono stati condotti dei test preliminari in cui si trasmettevano messaggi tra i due moduli LoRa, tenendo traccia della distanza, dell' altezza su cui è collocato un modulo e del **PDR** (Packet Delivered Ratio).

Distanza TX-RX	PDR
0m	100%
100m	99%
200m	95%
300m	92%
350m	90%
500m	88%
700m	70%
800m	40%

Altezza uomo

Distanza TX-RX	PDR
0m	100%
100m	100%
200m	99%
300m	80%
350m	75%
450m	63%
600m	62%
750m	51%

Quinto piano

Distanza TX-RX	PDR
0m	100%
100m	100%
250m	90%
300m	78%
350m	75%
450m	70%
550m	67%
700m	65%

Ottavo piano

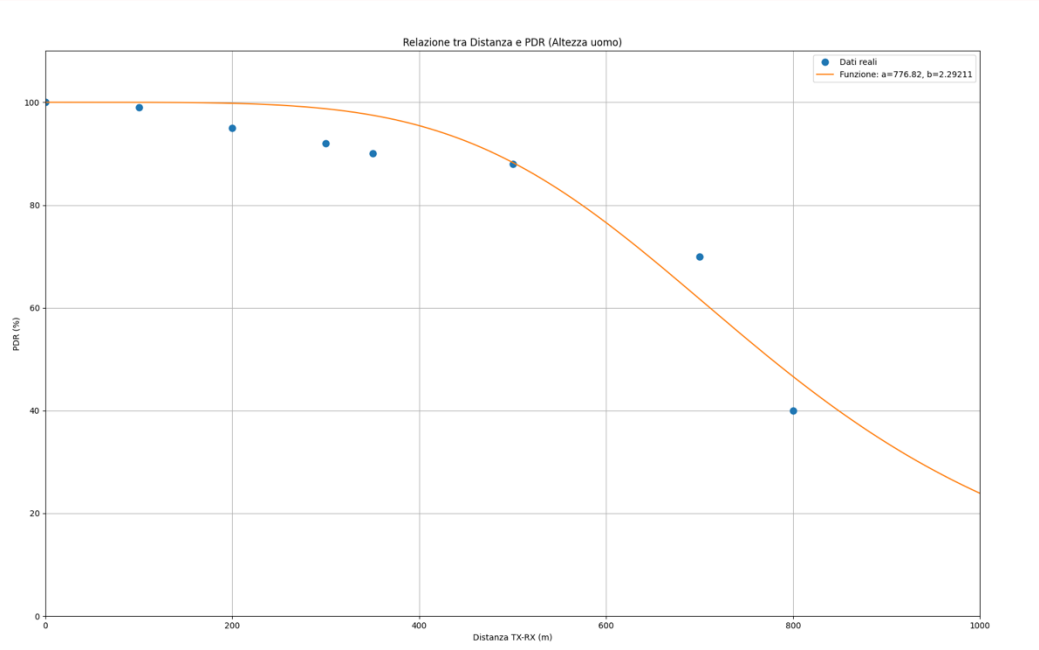
Implementazione: Modulo di deploy

Tramite questi dati, si è ricavata un'approssimazione mediante una funzione che mettesse in relazione PDR e distanza tra i dispositivi. La funzione scelta come punto di partenza è stata:

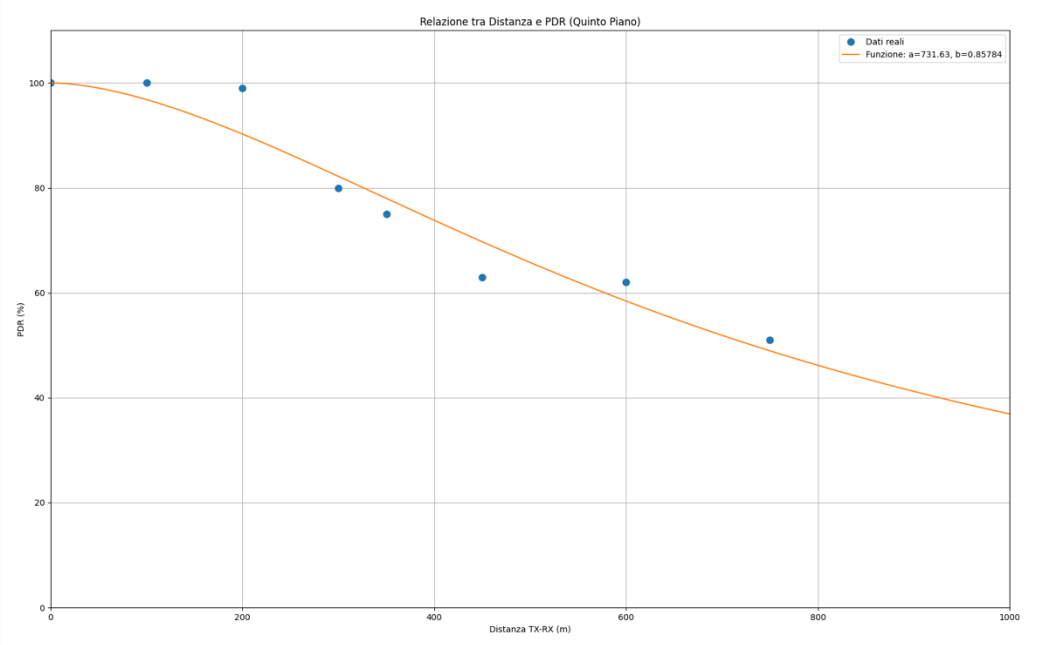
$$PDR(x) = \frac{100}{1 + \left(\frac{x}{a}\right)^{2b}}$$

- **a**: controlla il punto di massimo decadimento della curva;
- **b**: controlla la forma della curva;
- **Fattore 100**: fattore che assicura che la funzione sia calibrata correttamente.

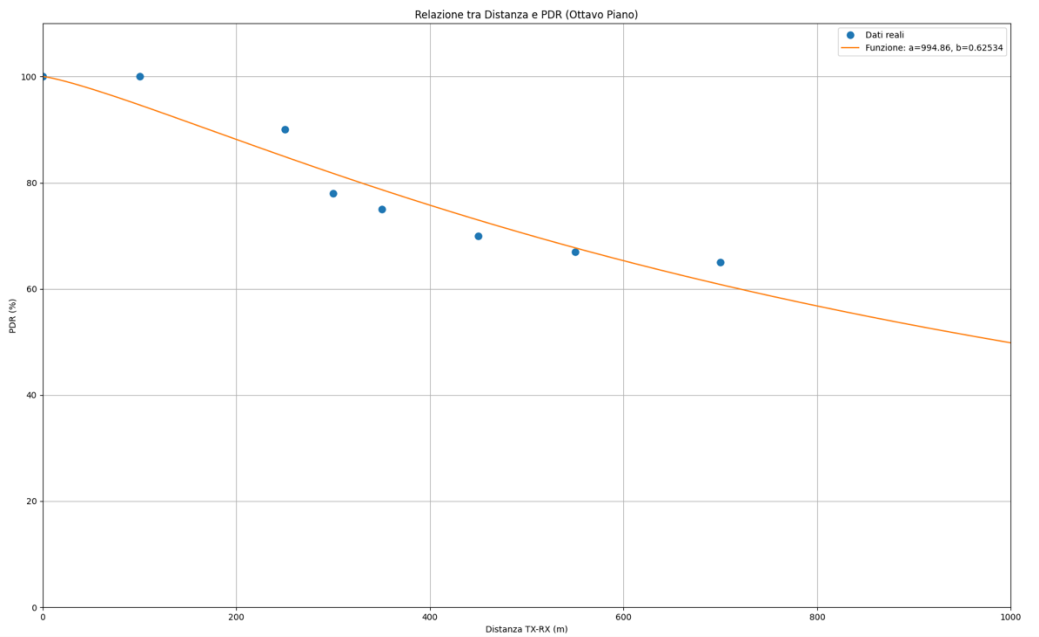
Implementazione: Modulo di deploy



$$PDR(x) = \frac{100}{1 + \left(\frac{x}{729,23}\right)^{2*2,29}}$$



$$PDR(x) = \frac{100}{1 + \left(\frac{x}{731,63}\right)^{2*0,86}}$$



Implementazione: Algoritmi di Ottimizzazione

Queste funzioni sono state utilizzate come base di partenza per due algoritmi, con l'obiettivo di massimizzare l'efficienza della ricezione del segnale, ottimizzando la posizione dei dispositivi riceventi. Gli algoritmi riceveranno in input:

- Posizioni candidate per i dispositivi riceventi (N);
- Numero di dispositivi da collocare (k);
- Punti strategici lungo un percorso (M);
- Soglia di PDR minimo.

Brute Force

Valuta tutte le possibili combinazioni di posizioni per i ricevitori. Garantisce la soluzione ottimale ma ha un'elevata complessità computazionale.

$$NumOperazioni = \binom{N}{k} * M = \frac{N!}{k! * (N - k)!} * M$$

Greedy

Seleziona incrementalmente le posizioni migliori. Più efficiente, ma può fornire soluzioni sub-ottimali.

$$NumOperazioni = N * k * M$$

Caso Studio: Pasqua di Comiso

La tradizionale processione pasquale di Comiso è un evento unico in Sicilia.

La processione rappresenta un momento di forte identità culturale e spirituale, attraversando le vie principali della città e coinvolgendo migliaia di persone.

Grazie al sistema presentato, è possibile innovare l'evento tracciando in tempo reale i movimenti dei simulacri e visualizzandoli su una mappa interattiva.



Confronto delle Prestazioni

100%

Copertura degli algoritmi

Entrambi gli algoritmi

garantiscono la copertura completa dei punti del percorso.

93.49%

PDR Medio Brute Force

Percentuale media di pacchetti consegnati per punto.

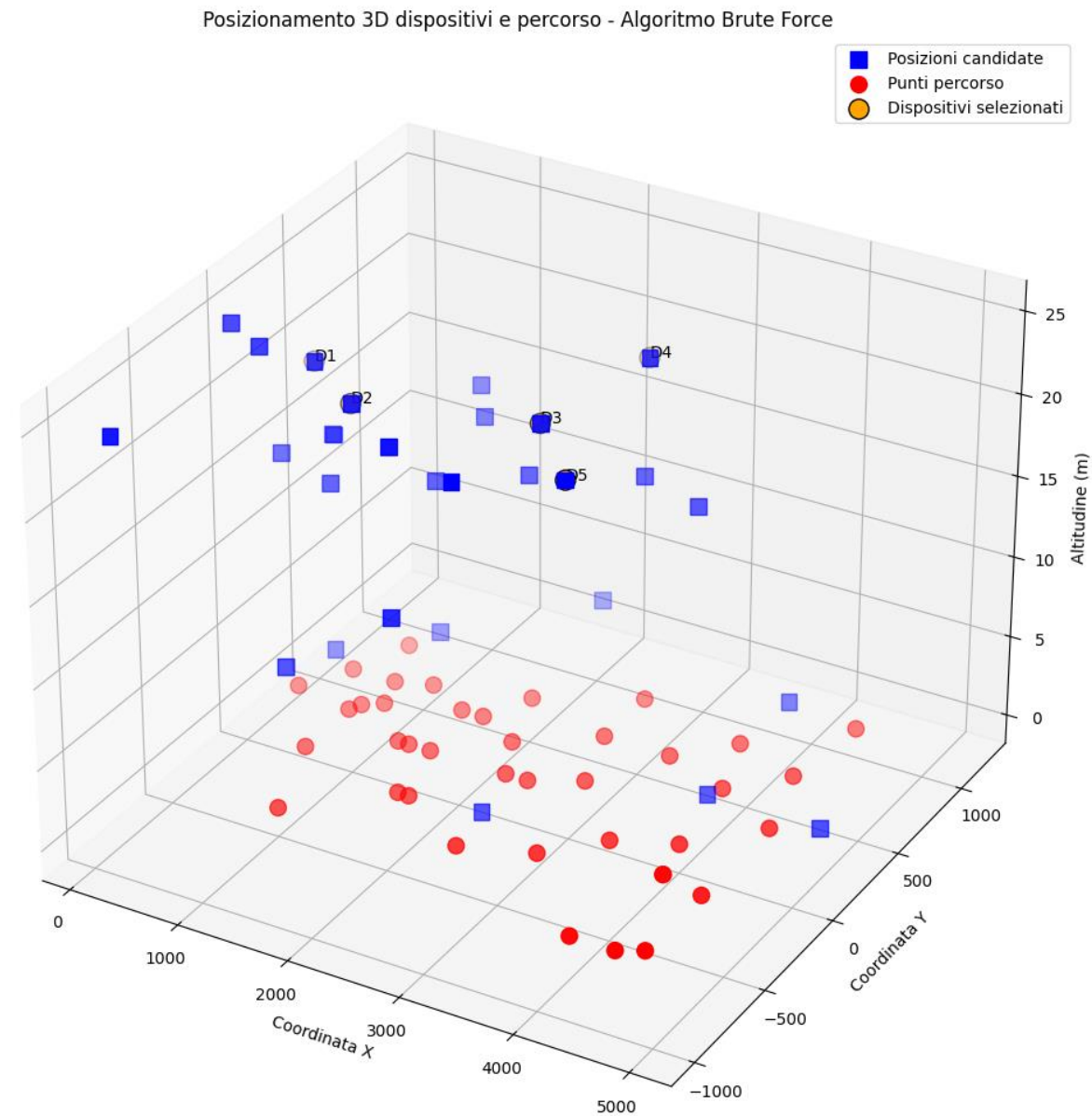
68.73%

PDR Medio Greedy

Efficiente ma con una qualità di copertura inferiore.

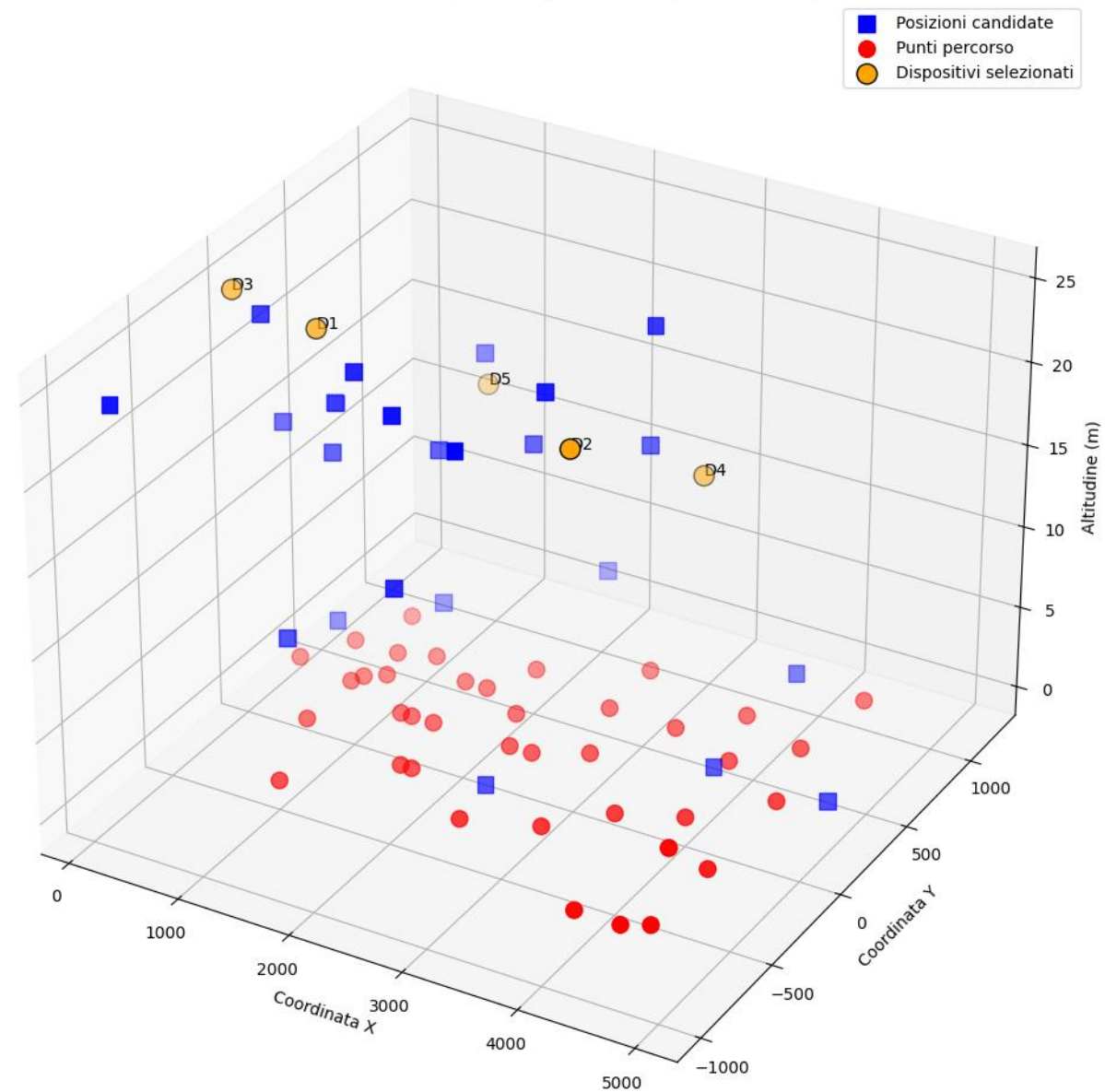
Posizioni candidate(k)	Brute Force (s)	Greedy (s)
25	24.01	0.05
30	65.62	0.1
50	295.67	0.9
200	NaN	9
300	NaN	15

Confronto delle Prestazioni

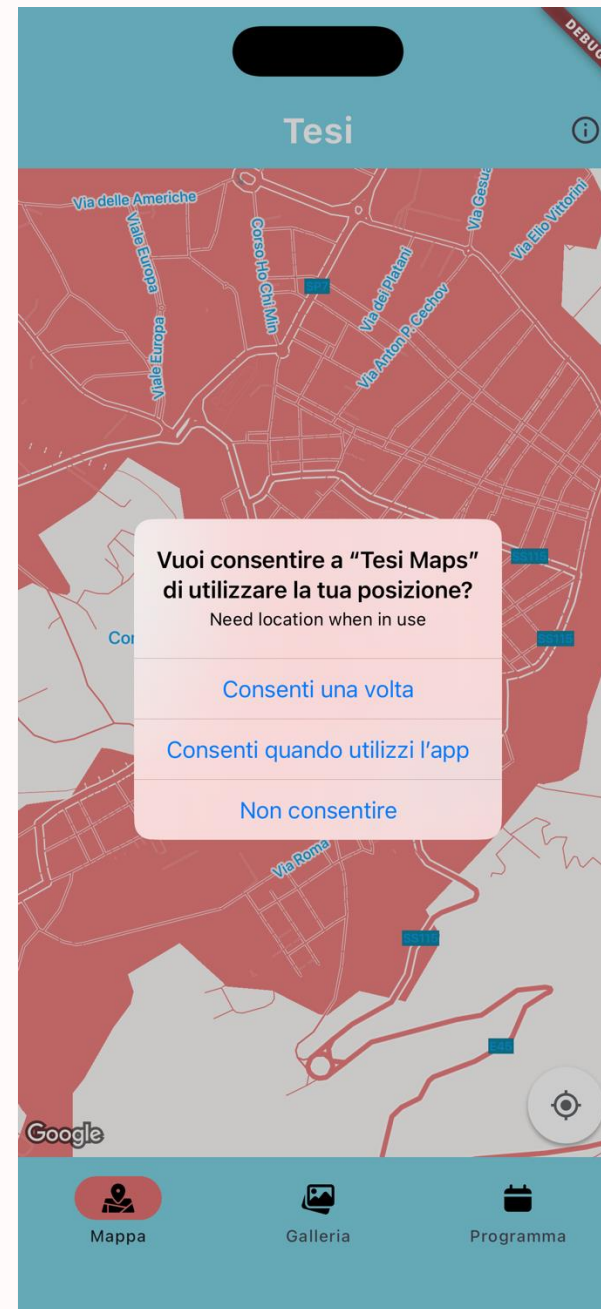
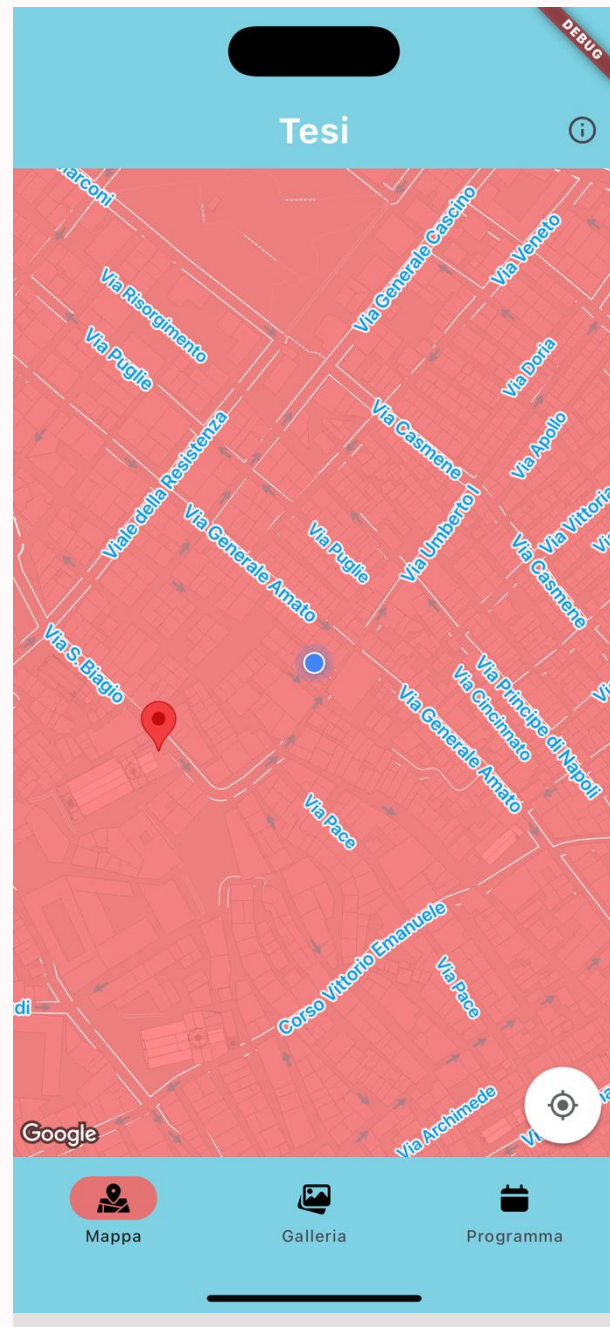


Confronto delle Prestazioni

Posizionamento 3D dispositivi e percorso - Algoritmo Greedy

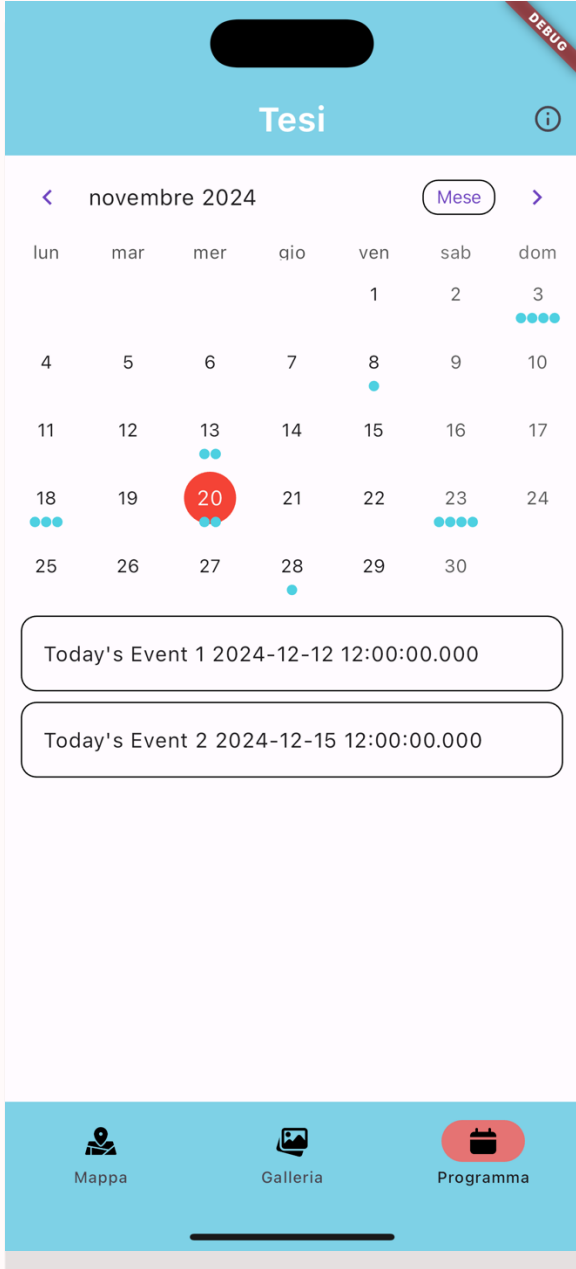
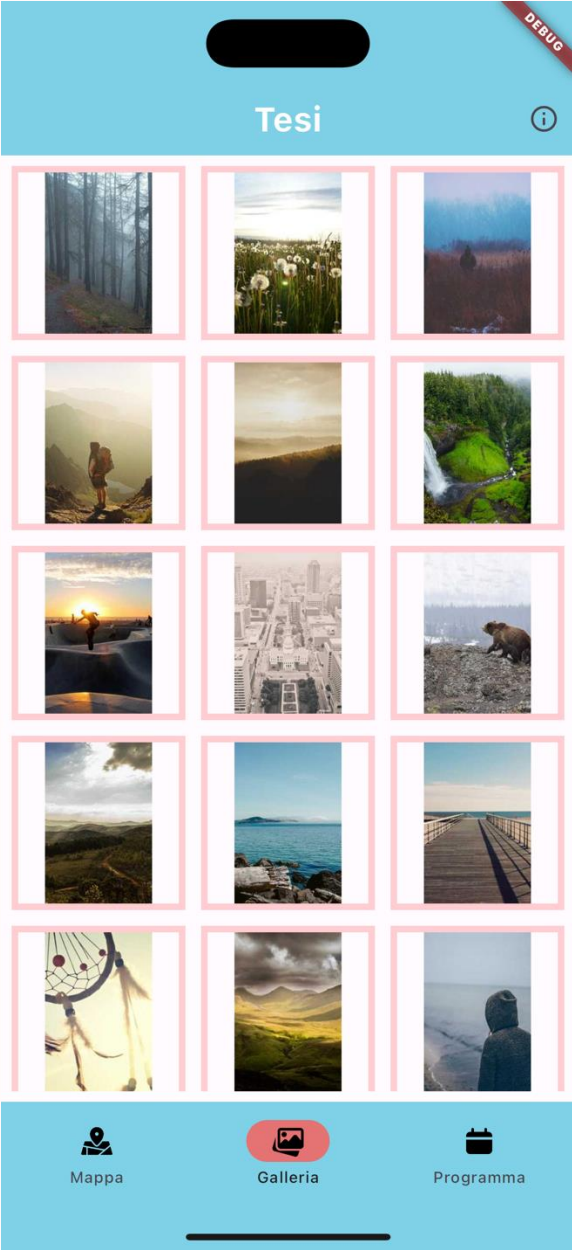


Applicazione Mobile Flutter



L' applicazione Flutter è stata progettata con un' architettura modulare per facilitare la manutenibilità del codice. Utilizza diverse pagine per gestire funzioni specifiche.

Applicazione Mobile Flutter



Sviluppi Futuri

Scalabilità

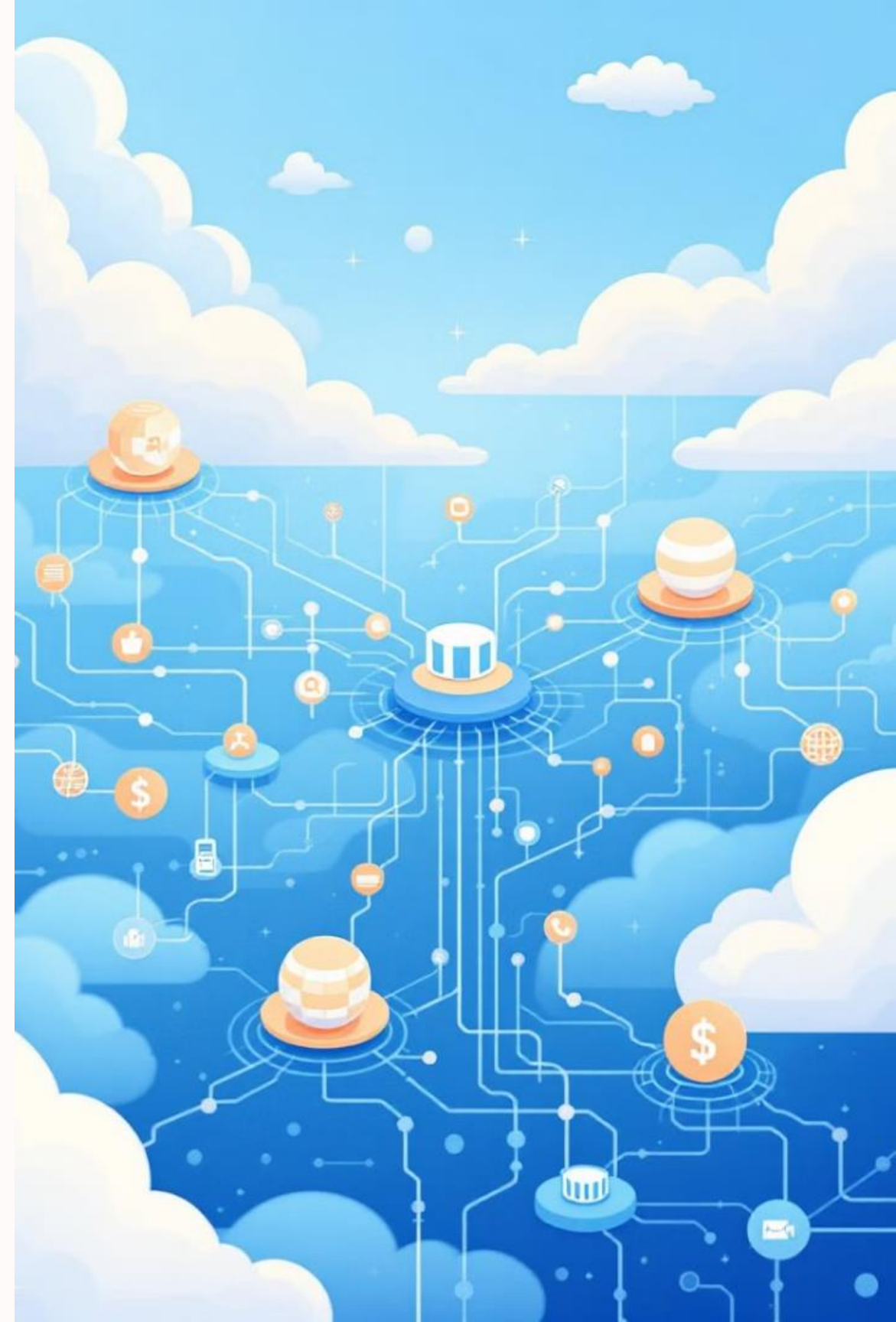
Implementazione di infrastrutture in grado di supportare un numero maggiore di dispositivi.

Integrazione LoRaWAN

Integrazione con reti LoRaWAN per migliorare la copertura e ridurre i costi infrastrutturali.

Esperienza utente

Introduzione di notifiche e avvisi personalizzati per gli utenti.
Raccolta di feedback dagli utenti per migliorare l'usabilità e le funzionalità.



Grazie per l'attenzione!