



Dipartimento di Ingegneria Informatica
e delle Telecomunicazioni

Università di Cassino e del Lazio Meridionale



Architettura Software per Ponti Radio

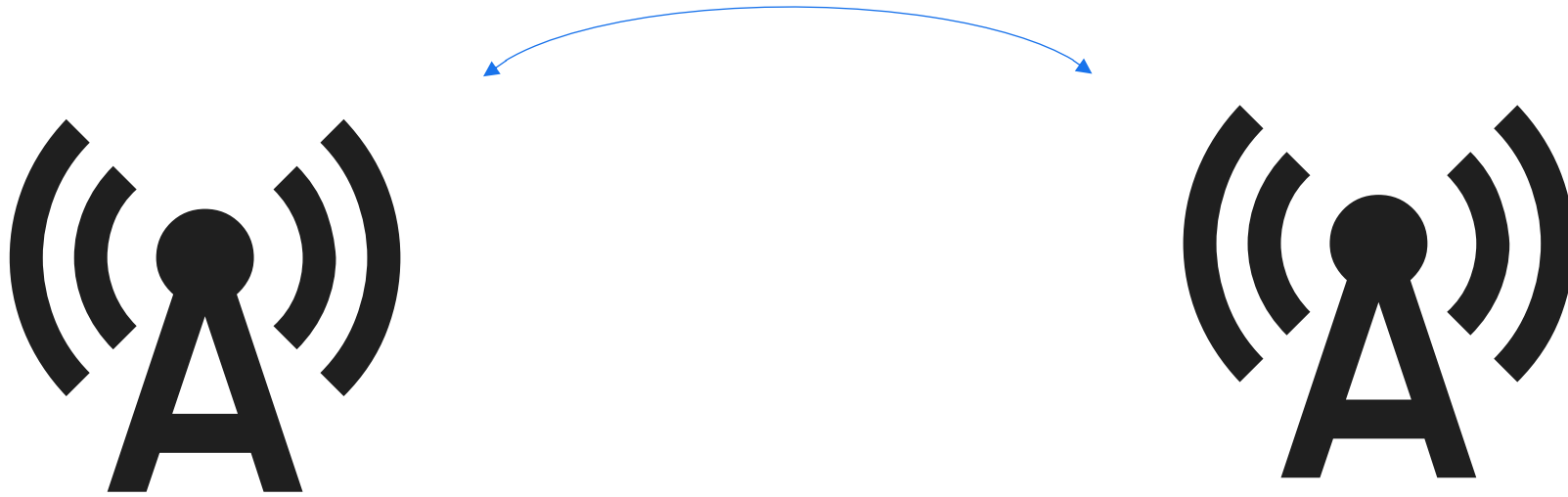
RELATORE: PROF. MARIO MOLINARA

CANDIDATO: ANDREA ROCCACCINO

CORRELATORI: PROF. CIRO D'ELIA

PROF. FRANCESCO PORPORA

Obiettivo della tesi



Architettura software modulare
per comunicazioni affidabili con moduli radio economici
su sistemi GNU/Linux



In collaborazione con Scuderia UNICAS

Presentato in FSAE 2024 e 2025

Superati i limiti tecnici dei sistemi concorrenti

Applicazioni pratiche



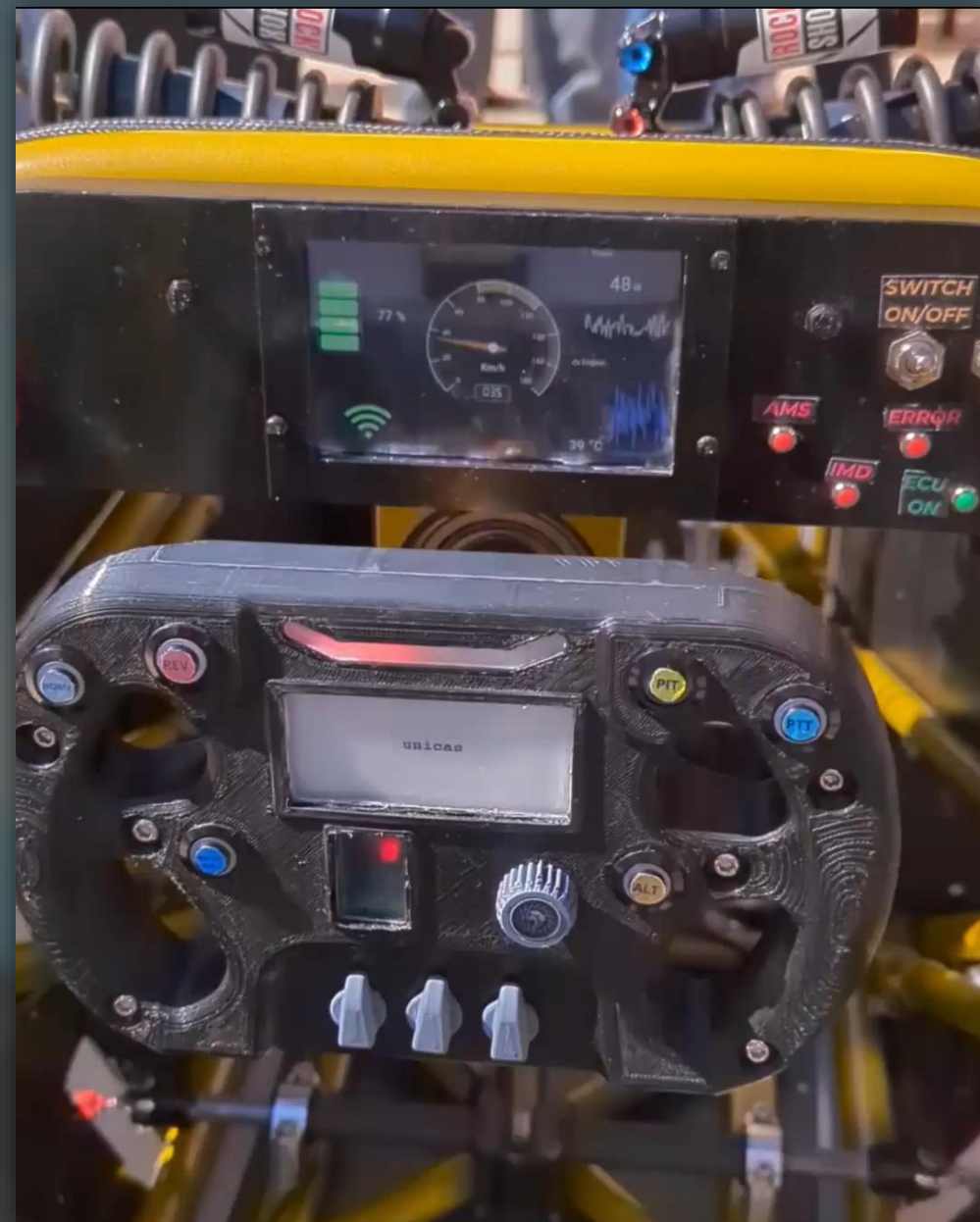
Collegamento
Off-Grid
indipendente



Telemetria



Streaming
video/audio



Applicazioni pratiche



Controllo remoto



**Combinando
si ottiene:**



Telepresenza



Introduzione al problema

Supponiamo di voler collegare stabilmente i due ragazzi.
Sono disponibili alcune possibilità...



Copertura



Interferenze



Non-standard



Elevata

Velocità



Alto



Alto



Insufficiente

Costo



Piano mensile



Medio



Budget

**Introduzione
al problema**

...ma nessuna soddisfa tutti i requisiti
in termini di copertura, velocità e costo.

**Possibile soluzione:
nRF24L01
di Nordic Semiconductors**



Copertura	✓ Fino a 1 km	✗ Sistema proprietario
Velocità	✓ Max 2 Mbps	Ma ✗ Pochi dati per transazione
Costo	✓ Basso (da €2 cad)	✗ Half Duplex

**Soluzione
del problema**

Questo modulo ci soddisfa, ma pone delle sfide.
Le abbiamo superate con un software.

Architettura Software

Applicazione

Trasporto

Rete

Collegamento

Fisico

Pila TCP/IP



Frame di 960 byte invece che 32



Data-agnostic: supporta TUN, CAN...



Logica HARQ



Rapida implementazione
e selezione di moduli radio aggiuntivi

Per avere un collegamento Full Duplex: raddoppiamo i moduli

Hybrid Automatic Repeat Request

Passaggi fondamentali

Segmentazione

Trasmissione

Controllo mancanti

ACK o NACK



Il cuore del protocollo

Con un singolo byte di header,
è possibile:

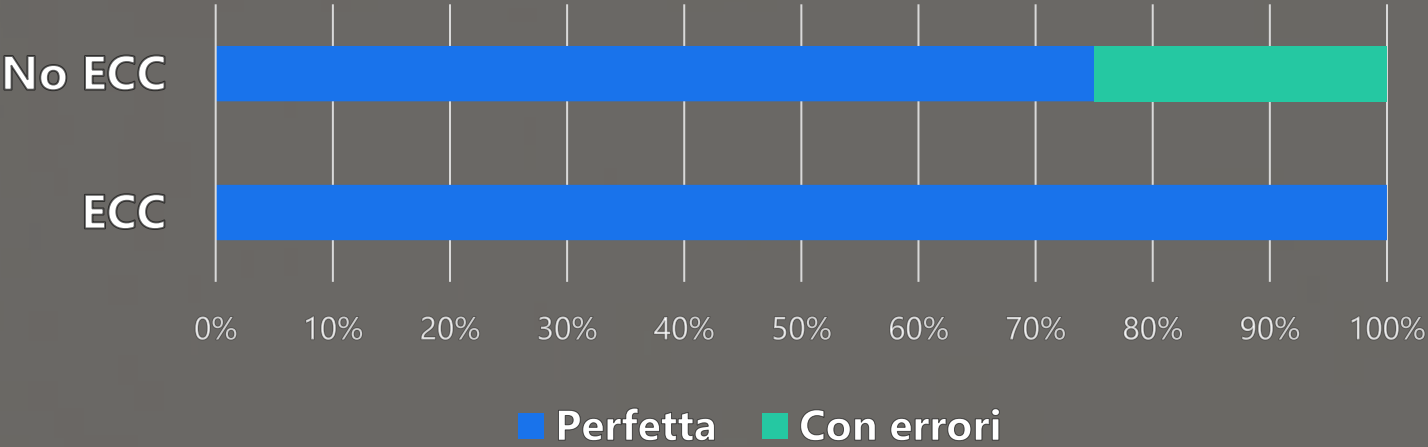
-  Gestire la segmentazione del frame
-  Identificare il frame
attualmente in uscita (SQN)
-  Individuare i segmenti persi
e richiederne la ritrasmissione
-  Confermare la ricezione avvenuta



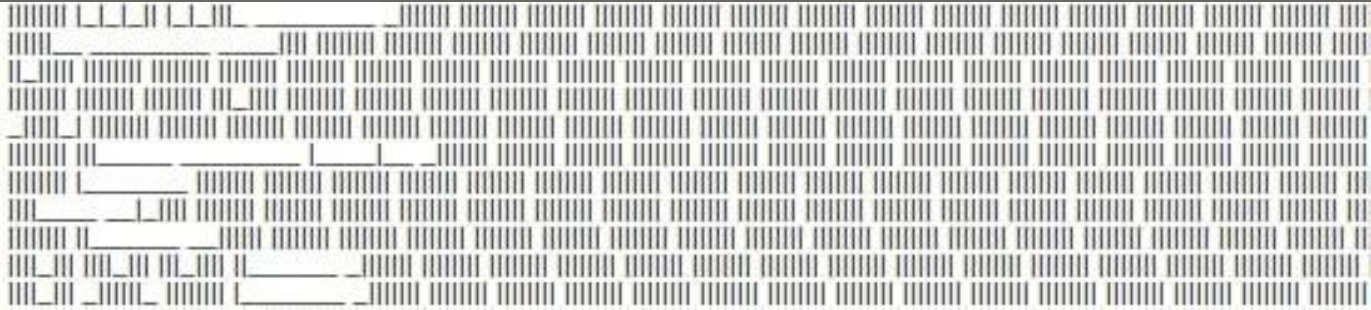
Correzione errori con Reed-Solomon ECC

25% dei pacchetti ricevuti è scartato in condizioni normali
Dopo correzione: 100% di ricezione utilizzabile

Percentuale di ricezione



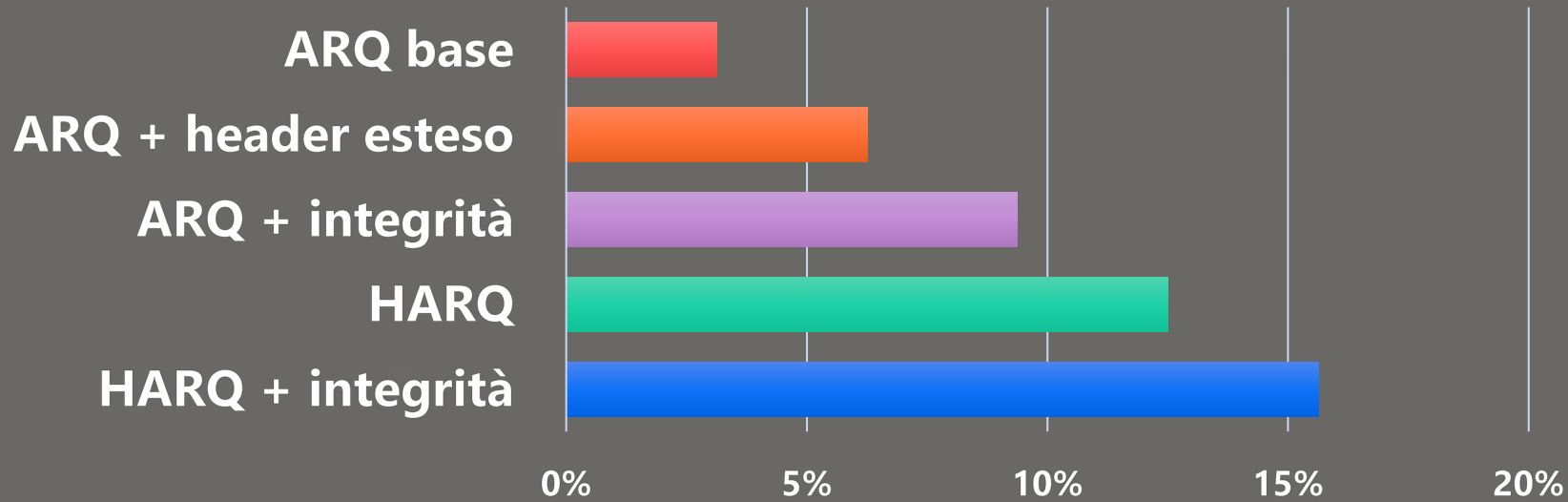
Bit flip patterns ricavati sperimentalmente



Efficienza del protocollo

Considerato efficiente in ambienti rumorosi con
overhead inferiore al 12%

Overhead percentuale per configurazione



Prestazioni ottenute

In condizioni ottimali con 2 byte per ECC



Ping
2-4 ms



Iperf
1.2 Mbps
Goodput

Caso reale: range test e studio della copertura in autodromo a Varano De' Melegari

Prove eseguite in E-lectra:

- ||| Performance sostenute per 900 metri (rettilineo, in LOS)
-  Trasmissione audio/video tra le mura degli uffici (senza LOS)



Sviluppi futuri



Supporto di nuovi moduli radio



Impostazione del sistema di telepresenza



Grazie per
l'attenzione

