



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni

*Metodologie di posizionamento indoor con
tecnologia Wi-Fi*

C. Giaconia, C. Lupascu, A.Machì,
L. Minneci, A. Scianna, G. Tarantino, M.Tripiciano

RT-ICAR-PA-14-01

Aprile 2014



Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (ICAR) – Sede di Cosenza, Via P. Bucci 41C, 87036 Rende, Italy, URL: www.icar.cnr.it

– Sezione di Napoli, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli, URL: www.na.icar.cnr.it

– Sezione di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, URL: www.pa.icar.cnr.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni

Progetto FESR Sicilia GEOPOS

Deliverable Attività di Ricerca

Marzo 2013- Aprile 2014

Contribuenti:

Ing. A. Scianna ICAR/CNR & IBAM/CNR Responsabile Scientifico

Dott. A. Machì ICAR-CNR Responsabile U.O ICAR

Prof. C. Giaconia DEIM UniPa Consulente Scientifico

Dott. M. Tripiciano ICAR-CNR Ricercatore

Dott. C. Lupascu ICAR-CNR Assegnista Ricerca

Ing. L. Minneci ICAR-CNR Assegnista Ricerca

Ing. G. Tarantino ICAR-CNR Assegnista Ricerca

RT-ICAR-PA-14-01

Data Ultimo Aggiornamento: 26Giugno 2014



Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (ICAR) – Sede di Cosenza, Via P. Bucci 41C, 87036 Rende, Italy, URL: www.icar.cnr.it

– Sezione di Napoli, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli, URL: www.na.icar.cnr.it

– Sezione di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, URL: www.pa.icar.cnr.it

I rapporti tecnici dell'ICAR-CNR sono pubblicati dall'Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tali rapporti, approntati sotto l'esclusiva responsabilità scientifica degli autori, descrivono attività di ricerca del personale e dei collaboratori dell'ICAR, in alcuni casi in un formato preliminare prima della pubblicazione definitiva in altra sede.

1	INTRODUZIONE.....	5
2	LOCALIZZAZIONE INDOOR CON TECNOLOGIA WI-FI: STATO DELL'ARTE	6
2.1	Lo standard Wi-Fi 802.11	6
2.2	Accesso dei dispositivi WIFI	7
2.2.1	Il CSMA/CA nello standard IEEE 802.11.....	7
2.3	Vantaggi e svantaggi di un possibile uso della tecnologia 802.11 nella localizzazione indoor	8
2.4	WLAN (wireless local area network)	9
2.4.1	Modalità strutturali utili nella localizzazione wifi.....	10
2.5	Localizzazione indoor e tecnologia wifi	12
2.6	Tecniche di localizzazione Toa, Aoa, Rss. Analisi delle misure di RSSI su device IEEE 802.11 e problematiche interconnesse.....	14
2.6.1	Tecniche basate su RSS.....	14
2.6.2	Tecniche time based (Time of arrival).....	20
2.6.3	Angle of arrival.....	21
2.7	Analisi dei device	22
2.7.1	Smartphone e relative problematiche (ios e android)	22
2.7.2	Equalizzazione dell'rssI	22
2.7.3	Access point embedeed linux.....	23
3	LOCALIZZAZIONE SU WLAN	26
3.1	Principi del posizionamento WLAN.....	26
3.2	Localizzazione network-side.....	27
3.2.1	Modelli di pianificazione Cisco.....	27
3.2.2	Misure Network Side	33
3.2.3	Problema di link adaptation e discretizzazione rssi.....	42
3.3	Localizzazione client side	44
3.3.1	Modelli di pathloss.....	44
3.3.2	Tecniche di fingerprinting nella fase on-offline.....	47

3.3.3	Algoritmi di pattern matching.....	47
4	SVILUPPO DI METODOLOGIA FINGERPRINTING CLIENT SIDE	50
4.1	Pianificazione e infrastruttura di localizzazione client side	50
4.1.1	Pianificazione dati vs localizzazione.....	50
4.1.2	Modelli di pianificazione CISCO (regole di best practice)	51
5	PIATTAFORMA SOFTWARE DI LOCALIZZAZIONE.....	53
5.1	RSS Logger	55
5.2	Localizzatore	56
5.3	Algoritmi di localizzazione	58
5.4	Server di distribuzione.....	59
5.5	DB Server	61
6	CAMPAGNE DI MISURA.....	65
6.1	Area CNR (ambiente partizionato).....	65
6.1.1	Setup delle misure	66
6.1.2	Analisi delle misure.....	68
6.2	Polo Didattico (ambiente semi-indoor)	79
6.2.1	Network planning	80
6.2.2	Risultati sperimentali.....	84
7	DISSEMINAZIONE DEI RISULTATI	89
7.1	PalermoInsegna 2014.....	89
7.1.1	Poster esibiti.....	91
7.1.2	Foto della manifestazione	94
8	CONCLUSIONI	96

1 Introduzione

Il presente rapporto tecnico descrive alcuni aspetti dell'attività di approfondimento teorico, le prove sperimentali e di verifica delle metodologie di fingerprinting, nonché l'attività di sperimentazione sul campo e di disseminazione svolta nell'ambito del Progetto GEOPOS durante il periodo Marzo 2013-Aprile 2014.

L'attività è stata svolta da tre assegnisti CNR e da due ricercatori dell'ICAR CNR, con la consulenza esterna gratuita e la supervisione, per gli aspetti teorici, del Prof. C. Giaconia del Dipartimento DEIM dell'Università di Palermo e dell'Ing A. Scianna Ricercatore ICAR-CNR attualmente distaccato presso IBAM-CNR.

L'attività è consistita nell'approfondimento teorico-pratico dello stato dell'arte nella localizzazione indoor client-side con metodologia di fingerprinting ed in particolare nella verifica sperimentale degli aspetti tecnici delle modalità di pianificazione del network, delle modalità di acquisizione dei valori di intensità in campo del segnale a radiofrequenza, e nell'adattamento di un sistema software open-source al trattamento dei dati.

L'attività di sperimentazione è stata condotta in due siti: la sede di un laboratorio ICAR presso l'Area della Ricerca CNR a Palermo ed il complesso Didattico Multifunzionale dell'Università di Palermo, dove la metodica di localizzazione è stata sperimentata e presentata durante la manifestazione didattica di Ateneo Palermo Insegna 2014.

Il rapporto raccoglie vari contributi sviluppati nel periodo di attività dagli assegnisti di ricerca ed è organizzato in capitoli.

Nel Capitolo 2 si illustrano alcuni aspetti dello standard wi-fi 802.11 rilevanti ai fini della localizzazione indoor, e si discutono pregi e limiti delle metodiche di misurazione del segnale radio utilizzate in letteratura ai fini della localizzazione. Viene presentato, inoltre, l'hardware utilizzato negli esperimenti successivi per la realizzazione di Access Point di rete programmabili.

Nel Capitolo 3 si discutono le regole di buona pratica consigliate in letteratura per il posizionamento ottimale degli Access Point e l'ottimizzazione del campo a radiofrequenza

2 Localizzazione indoor con tecnologia wi-fi: stato dell'arte

2.1 Lo standard Wi-Fi 802.11

IEEE 802.11 [1,2] è un insieme di standard di trasmissione per le reti WLAN, sotto forma di varie release, sviluppato dal gruppo 11 dell'IEEE 802, con particolare riguardo al livello fisico e MAC del modello ISO/OSI specificando sia l'interfaccia tra client e base station (o access point) sia tra client wireless.

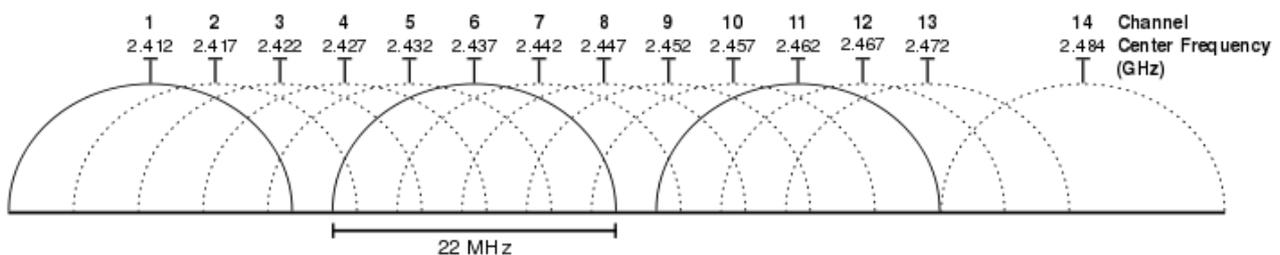
La famiglia 802.11 consta di quattro protocolli dedicati alla trasmissione delle informazione (a, b, g, n), altri standard della famiglia come (c, d, e, f, h,r ...) riguardano estensioni dei servizi base e miglioramenti di servizi già disponibili.

L'802.11b e 802.11g utilizzano lo spettro di frequenze (banda ISM) nell'intorno dei 2,4 GHz con potenze EIRP (Massima Potenza Equivalente Irradiata da antenna Isotropica) di non più di 20 dBm. Trovandosi così ad operare in bande di frequenze ove già lavorano altri apparecchi, i dispositivi b e g possono essere influenzati da altri dispositivi che utilizzano quella banda di frequenze.

802.11b ha visto la sua comparsa ufficiale nel 1999 e ha la capacità di trasmettere al massimo rate di 11 Mbit/s e utilizza il Carrier Sense Multiple Access con Collision Avoidance (CSMA/CA) come metodo di trasmissione delle informazioni; 802.11g invece consente di trasmettere al massimo rate di 54 Mbit/s.

802.11b e 802.11g dividono lo spettro in 14 sottocanali da 22 MHz ciascuno. I canali sono parzialmente sovrapposti tra loro in frequenza, quindi tra due canali consecutivi esiste una forte interferenza.

I due gruppi di canali 1, 6, 11 e 2, 7 e 12 non si sovrappongono fra loro e vengono utilizzati negli ambienti con altre reti wireless.



Canali Wi-Fi nella banda di 2.4 GHz

Lo standard 802.11a utilizza lo spazio di frequenze nell'intorno dei 5 GHz e opera con una velocità massima di 54 Mb/s. Questo standard non ha riscosso il successo dell'802.11b in quanto in molti paesi l'uso delle frequenze a 5 GHz è tuttora riservato.

Lo standard 802.11 n è considerato l'evoluzione degli standard precedenti, consente velocità di 300 Mb/s.

802.11n include la possibilità di utilizzare la tecnologia MIMO (multiple-input multiple-output). Questo consente di utilizzare più antenne per trasmettere e più antenne per ricevere incrementando la banda disponibile, inoltre può operare sia nell'intorno dei 2.4 GHz sia nell'intorno dei 5 GHz. I prodotti che permettono questa possibilità vengono chiamati "dual band" proprio perché trasmettono nell'intorno dei 2.4 GHz e 5 GHz.

Standard	Frequenza	Velocità di trasferimento (Mb/s)	Modulazioni utilizzate
802.11 legacy	FHSS, 2,4 GHz, IR	1, 2	
802.11a	5,2, 5,4, 5,8 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11b	2,4 GHz	1, 2, 5.5, 11	DBPSK, DQPSK
802.11g	2,4 GHz	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54	DBPSK, DQPSK, BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11n	2,4 GHz, 5,4 GHz	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54, 125, 144, 300	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM

Tabella riassuntiva dello standard 802.11

2.2 Accesso dei dispositivi WIFI

Il CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) è un protocollo di accesso multiplo che utilizza il rilevamento della portante ma in cui i nodi tentano di evitare *a priori* il verificarsi di collisioni. Una volta iniziata, la trasmissione prosegue fino al termine del pacchetto. Il protocollo CSMA/CA è adottato come algoritmo di accesso multiplo.

2.2.1 Il CSMA/CA nello standard IEEE 802.11

Nel momento in cui una stazione vuole tentare una trasmissione, essa ascolta il canale (*Listen-before-Transmit*). Se il canale risulta libero (*idle*) la stazione attende per un certo lasso di tempo identificato come DIFS (*Distributed Inter Frame Space*) trascorso il quale, se il canale continua ad essere libero, la stazione inizia la trasmissione del pacchetto. A trasmissione completata il nodo di trasmissione attende per un tempo detto SIFS (*Short Inter Frame Space*, di durata inferiore al DIFS) la ricezione di un ACK che conferma dell'avvenuta ricezione da parte della stazione ricevente.

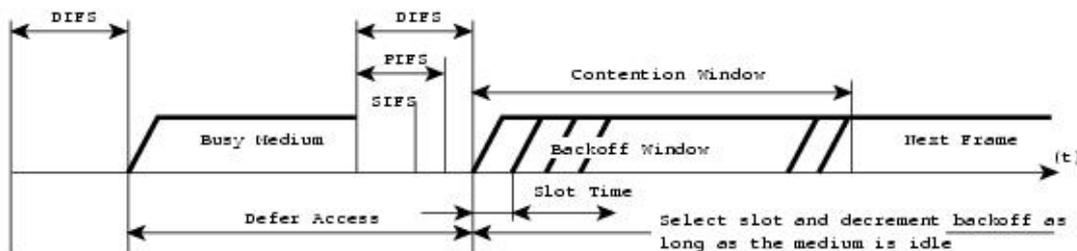
Durante la trasmissione le altre stazioni, trovando il canale occupato, non avvieranno trasmissioni, evitando in tal modo collisioni (la durata del SIFS inferiore a quella del DIFS assicura che nessuna stazione inizi a trasmettere prima della ricezione dell'eventuale ACK).

Qualora, invece, la stazione trasmittente rilevi il canale occupato oppure si siano verificate delle prenotazioni da parte di altre stazioni, la stazione attende per una durata casuale (detto tempo di *backoff*) che il canale si liberi.

Questa attesa è implementata per mezzo di un *timer* che viene decrementato solo durante i periodi di inattività del canale, mentre viene invece congelato (*frozen backoff*) durante i restanti periodi di trasmissione sul canale da parte di altre stazioni. Quando il timer raggiunge lo zero la stazione effettua un nuovo tentativo di trasmissione: questa tipologia di accesso è detta *Accesso Base*.

Accesso RTS/CTS e problema del *terminale nascosto*

Spesso il protocollo CSMA/CA è usato congiuntamente alla tecnica RTS/CTS (prenotazione del canale) per affrontare il problema del cosiddetto *terminale nascosto*, ovvero il fatto che una stazione A che trasmette verso una stazione B può non essere in grado (ad esempio a causa della distanza) di rilevare una stazione C anch'essa impegnata in una comunicazione con B, generando così collisioni in ricezione su B.



Protocollo CSMA/CA accesso al canale

2.3 Vantaggi e svantaggi di un possibile uso della tecnologia 802.11 nella localizzazione indoor

In linee generali possono essere elencati i vantaggi e svantaggi che fanno della tecnologia wifi, una tecnologia più o meno appetibile per la localizzazione indoor. Questi aspetti saranno ampiamente descritti e giustificati nei capitoli seguenti.

VANTAGGI

- Grande diffusione e basso costi per via dell'implementazione di massa in dispositivi come smartphone, tv, tablet, pc, ecc...
- Connessione in modo rapido e accessibilità ad internet
- Mobilità dei dispositivi all'interno dell'area di copertura

- possibilità di utilizzare diverse implementazioni dello standard utili per la localizzazione con RSS, come il valore di RSSI (Received Signal Strength Indicator)
- utilizzo del passive scanning nella localizzazione client side
- utilizzo della modalità monitor nella localizzazione network side

SVANTAGGI

- Distanze di coperture limitate (50-70 metri)
- necessità di essere alimentati a batteria per il terminale in mobilità
- Problema relativo alle interferenze tra canali adiacenti casi di hidden node, exposed node, flow in the middle
- Necessità di coordinare le trasmissioni
- Non nascono per fare localizzazione indoor (sono orientate al trasferimento dati in mobilità all'interno di una LAN)
- Diversa velocità di trasmissione a diverse distanze
- il DCF limita l'azione delle reti WLAN come anche il troupught nel caso di ambienti interferenti
- limitazioni derivanti dall'RSSI da usare nella localizzazione basata su RSS

2.4 WLAN (wireless local area network)

Le wlan indicano genericamente tutte le reti locali di computer che non utilizzano dei collegamenti via cavo per connettere fra loro gli host della rete. Le onde radio vengono utilizzate dalle reti tipo Wi-Fi cioè reti che devono coprire ambienti eterogenei dove le diverse postazioni da collegare non sono necessariamente visibili, infatti possono essere separate da muri o da intercapedini.

Tali infrastrutture sono ottenibili mediante l'utilizzo di dispositivi WIFI. Le reti WLAN sono sostituti delle reti wired, costituiscono un'infrastruttura dati e non di localizzazione.

Le wlan consentono la possibilità di roaming consentendo al terminale mobile la possibilità di potersi spostare dalla copertura di un access point a un altro senza una caduta della connessione internet.

L'esistenza di uno standard certificato garantisce l'interoperabilità fra apparecchio e rete, senza i costi della cablatura (essendo tecnologia wireless) per una più rapida e facile installazione ed espansione successiva della rete.

Uno svantaggio delle connessioni Wi-Fi 802.11a/g può essere la stabilità del servizio ovvero dunque la qualità di servizio (QoS) offerta all'utente, che per via di disturbi sul segnale talvolta può essere discontinua per la presenza di dispositivi che disturbano la frequenza operativa di 2,4 GHz, o 5 GHz.

La rete Wi-Fi è una rete di telecomunicazioni, eventualmente interconnessa con la rete Internet, a copertura a piccola scala (locale), con dispositivi di ricetrasmisione radio come gli accesspoint (AP).La parte radio o interfaccia radio Access Point-utente costituisce la *rete di*

accesso, mentre la LAN cablata che collega tutti gli Access Point rappresenta la *rete di trasporto*.

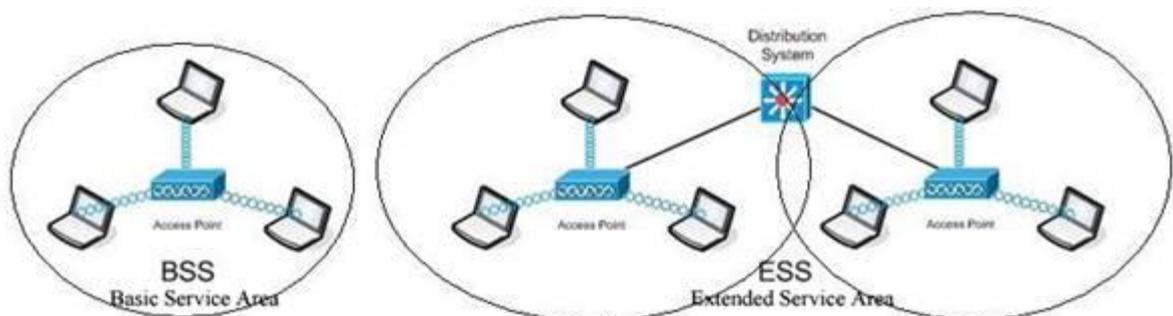
Per poter comunicare con stazioni riceventi poste nell'area di copertura di altri Access Point ogni stazione a livello logico deve potersi registrare/deregistrare, sull'Access Point della cella di appartenenza (ed eventualmente riassociarsi su un altro AP se la stazione mobile cambia nel tempo cella di copertura (handover)) il quale poi dovrà comunicare agli altri Access Point la presenza nella sua cella di copertura di ogni stazione servita con rispettivo indirizzo per il roaming.

In particolare la registrazione della stazione sull'Access Point avviene attraverso l'invio di un normale pacchetto dati al cui interno è contenuto l'indirizzo di sorgente e quello di destinazione utilizzati per l'indirizzamento. Tale pacchetto è poi incapsulato all'interno di una trama di livello MAC per il trasporto sulla parte cablata, mentre la segnalazione agli altri AP della stazione servita per il roaming sull'eventuale pacchetto di risposta da parte delle altre stazioni riceventi avviene aggiungendo alla trama formata l'indirizzo dell'AP ricevente. Gli indirizzi Wi-Fi hanno lo stesso formato degli indirizzi MAC cioè stringhe di 48 bit espresse in forma esadecimale risultando pertanto indistinguibili da questi e sono memorizzati nella scheda di rete Wi-Fi dei dispositivi coinvolti (stazioni e AP).

2.4.1 Modalità strutturali utili nella localizzazione wifi

La modalità strutturale che può ritornare utile per la localizzazione è quella offerta dalla modalità WLAN BSS (Basic Service Set)o infrastruttura che si basa su un Access Point centrale collegato ad una LAN cablata che funge da unico tramite per il traffico dei dispositivi wireless che si trovano nel range di copertura. Una singola WLAN BSS rappresenta una cella, chiamata Basic Service Area (BSA).

Una WLAN ESS (Extended Service Set) si basa sul collegamento di due o più WLAN BSS tra loro al fine di generare un'area di copertura di conseguenza ben maggiore. Grazie alla funzione del roaming, prevista dallo standard IEEE 802.11, un utente della WLAN ESS può passare da una cella (BSA) all'altra senza risentire di alcuna interruzione del servizio e quindi in modo totalmente trasparente. È importante che le celle wireless in configurazione ESS si sovrappongano almeno in parte per garantire questa funzionalità.



configurazione WLAN nella modalità BSS ed ESS

DISPOSITIVI WIFI

Wi-Fi è il termine con cui si identificano in genere i dispositivi 802.11, indica l'appartenenza del dispositivo stesso alla Wi-fi Alliance che raccoglie numerosi costruttori di hardware (Cisco, Netgear, Nokia, Intel, Broadcom, Philips, Asus, ecc.).

L'organizzazione è nata con l'obiettivo di certificare l'interoperabilità di prodotti 802.11, portando ad una comune (o comunque interoperabile) implementazione di quelle parti dello standard lasciate libere al costruttore.

L'aspetto di diversità dimostra la variabilità delle letture dell'RSSI tra produttori di schede differenti, come anche il possibile differente uso di algoritmi di link adaptation. Quest' ultimo consente di variare il data rate in trasmissione in modo dinamico adattandolo alle condizioni del canale radio e affollamento del canale, in particolare i protocolli Wi-Fi consentono di adattare la velocità di trasmissione nella tratta wireless di accesso in funzione della distanza della stazione mobile ricetrasmittente dall'Access Point minimizzando le perdite di trasmissione.

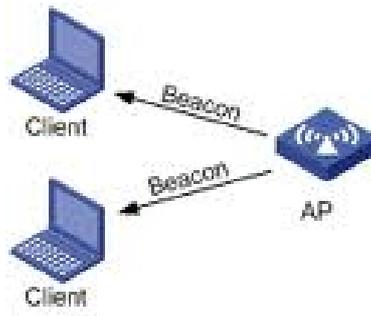
ACCESS POINT E UTILITA' NELLA LOCALIZZAZIONE

In generale è un dispositivo elettronico, collegato ad una rete cablata, o anche, per esempio, ad un router, che permette all'utente mobile di accedervi in modalità *wireless* direttamente tramite il suo terminale, se dotato di scheda wireless.

Un Access Point può comunicare solitamente con 30 client situati in un raggio di 100 m. Tuttavia questa caratteristica varia a seconda di diversi fattori come il posizionamento, la presenza di ostacoli, l'interferenza con altri campi elettromagnetici, tipo di antenna, la frequenza radio su cui opera e la potenza di *output* del dispositivo.

Le celle di copertura degli AP sono spesso parzialmente sovrapposte per evitare buchi di copertura del segnale. L'uso tipico di un *Access Point* è quello di collegarlo ad una LAN e consentire così ad utenti muniti di dispositivi wireless di usufruire dei servizi di rete LAN con in aggiunta il vantaggio della mobilità.

L'AP comunica in broadcast alle stazioni riceventi nel proprio raggio di copertura l'SSID della rete o delle reti locali wireless che sta servendo, mediante la trasmissione del beacon.



Trasmissione dei beacon da parte dell'AP

Il Beacon è un frame di management inviato periodicamente dall'AP, contiene un timestamp utile per la sincronizzazione e power management, oltre che informazioni di gestione.

Informazioni di interesse per la localizzazione e deducibili dai beacon sono il canale dove è settato l'AP, il tipo di sicurezza, il tipo di trasmissione supportata (PHY PARAMETER-RATE), nome della rete (SSID) e il BSSID (Basic service set identification) indirizzo MAC dell'AP.

Particolare importanza riveste il MAC address (Media Access Control) che è un indirizzo fisico (48bit) assegnato in modo univoco dal produttore e che rappresenta in sostanza un identificativo per un particolare dispositivo a livello di rete locale.

2.5 Localizzazione indoor e tecnologia wifi

L'enorme diffusione delle reti wireless in ambito locale e metropolitano, basate su tecnologie IEEE 802.11 (Institute of Electrical and Electronics Engineers), congiuntamente al successo raggiunto dalle applicazioni location-aware e dei LBS (Location Based Services), divengono da incentivo allo sviluppo di sistemi da utilizzare per il posizionamento indoor basato sull'infrastruttura WLAN.

Le WLAN nascono per estendere la comunicazione delle classiche reti wired e non si prestano per la localizzazione di dispositivi WI-FI.

La tecnologia WI-FI, termine generalmente anche utilizzato per indicare i dispositivi 802.11, permette di creare reti locali senza fili, garantendo velocità medio alte con costi e consumi energetici medi.

Vista la facilità di accesso a tali reti ed il gran numero di dispositivi in grado di interfacciarsi con esse, rendono i costi dell'infrastruttura ridotti rispetto ad altre soluzioni. Inoltre dispositivi di produttori diversi sono tra loro interoperabili.

L'elevata scalabilità ed economicità rispetto ad altre infrastrutture dedicate, la rendono appetibile per la localizzazione in ambienti indoor, in quanto in tali ambienti le infrastrutture di comunicazione wireless sono basate fundamentalmente sulle WLAN.

La localizzazione da un punto di vista ingegneristico riveste un notevole interesse.

Questo perchè da un parte si è sempre alla ricerca di migliori performance in termini di precisione, accuratezza e scalabilità, ma dall'altra vincoli tecnologici e strutturali giocano un ruolo chiave.

In generale per molti processi di localizzazione, è necessario utilizzare delle tecniche e degli algoritmi che consentono di poter derivare la posizione di un target, a partire da osservazioni su un segnale che viene trasmesso tra un trasmettitore e un ricevitore, inferendo informazioni dal segnale che viaggia tra essi come: RSS (Received Signal Strength), ToA (Time of Arrival), AoA (Angle of Arrival) e TDoA (Time Difference of Arrival).

Attualmente sistemi di localizzazione indoor, che fanno uso della tecnologia WIFI si basano sull'utilizzo del RSS.

Seppur basati su una tecnologia piuttosto semplice e non costosa, i sistemi di localizzazione basati su RSS non sono adeguatamente accurati, per il fatto che fenomeni legati alla propagazione del segnale nel canale rendono la potenza un processo aleatorio di difficile modellizzazione. Tuttavia la letteratura scientifica presente del settore che vede l'utilizzo della tecnologia WI-FI nell'ambito localizzazione è sempre più ricca. Partendo dalle limitazioni dettate dallo standard e di conseguenza dai dispositivi ad esso legati, si è alla continua ricerca di tecniche e soluzioni che meglio si adattino.

Le trasmissioni con tecnologia WI-FI avvengono mediante la propagazione di segnali radio; studi riguardanti la natura e i problemi del canale radio, hanno dimostrato quanto sia imprevedibile il comportamento di un segnale elettromagnetico che si propaga e quanto sia difficile modellizzare il canale per la propagazione di queste onde. Questo è dovuto al fatto che le comunicazioni wireless risultano essere normalmente affette dalla presenza di elementi che generano interferenze nella propagazione delle onde elettromagnetiche.

La struttura generale di un collegamento radio classico, consiste sostanzialmente di tre blocchi: trasmettitore, canale di trasmissione, ricevitore.

In tale tipo di collegamento il canale di trasmissione è il cosiddetto canale radio, costituito dall'insieme di antenna trasmittente, ricevente e del dielettrico interposto, all'interno del quale si propaga l'onda elettromagnetica che trasporta l'informazione.

Il modo in cui si propaga il segnale dipende dai casi di LOS (Line of Sight) e NLOS (Non Line of Sight), che si possono avere tra trasmettitore e ricevitore. Per collegamenti radio di tipo LOS risulta possibile una sola traiettoria elettromagnetica tra antenna trasmittente e ricevente e questa non è influenzata da ostacoli presenti in prossimità della tratta.

In collegamenti NLOS, può avvenire che a causa di fenomeni di riflessione, rifrazione, diffrazione e scattering da parte del dielettrico e degli oggetti presenti nello scenario elettromagnetico, tra le due antenne sussistano contemporaneamente più percorsi elettromagnetici possibili (multipath).

In quest'ultimo caso la descrizione delle perdite di propagazione (pathloss) non può essere caratterizzata deterministicamente, ma solo mediante opportuni modelli statistici che

dipendono oltre che dalla frequenza di lavoro adoperata, anche dalla tipologia del collegamento sia esso in ambienti indoor, outdoor urbani oppure rurali, ecc.

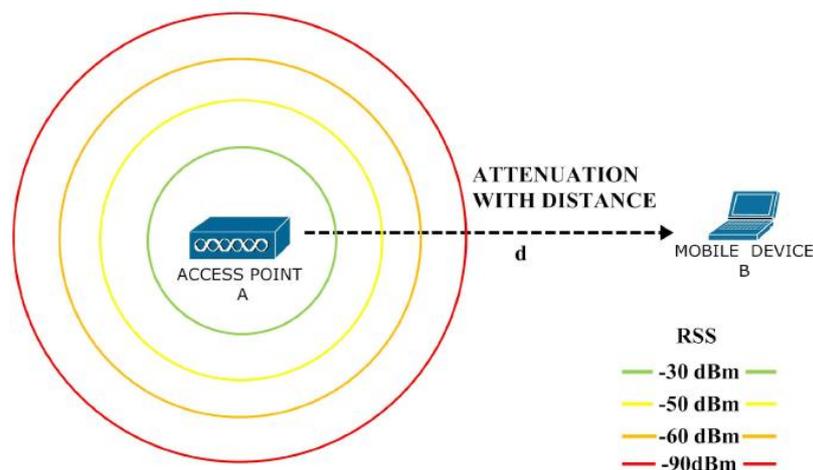
2.6 Tecniche di localizzazione Toa, Aoa, Rss. Analisi delle misure di RSSI su device IEEE 802.11 e problematiche interconnesse

2.6.1 Tecniche basate su RSS

La localizzazione basata su RSS è legata al fenomeno dell'attenuazione che subisce un segnale che si propaga nello spazio.

Modelli di pathloss vengono utilizzati per caratterizzare la propagazione in ambiente indoor.

I valori di potenza necessari per poter mettere in atto un sistema di localizzazione sono deducibili dai valore di RSSI che sono direttamente ottenibili dalle schede WI-FI senza la necessità di utilizzare hardware aggiuntivo.



Attenuazione dell'RSSI in funzione della distanza

Lo standard 802.11 [1,2] definisce l'RSSI come un parametro opzionale che può assumere un valore tra 0 e RSSI Max.

Tale parametro rappresenta una misura, effettuata dal livello PHY, dell'energia osservata dall'antenna utilizzata per ricevere la relativa PPDU (PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) Protocol Data Unit).

Nasce per essere usato in maniera relativa, ovvero non vi sono specifiche in merito all'accuratezza di questa misura, e inoltre non viene definito alcun rapporto tra il valore di RSSI e il livello di potenza sia essa in mW o dBm.

Un'analisi approfondita dimostra come il valore di RSSI fornito da diversi produttori di schede WI-FI è prettamente dipendente dall'implementazione hardware della scheda, ossia non risulta esserci un modo univoco nella stima di tale parametro; ogni produttore fornisce la propria accuratezza e granularità, con il quale riferisce la potenza effettivamente misurata a dei valori di RSSI nel range da 0 a RSSI Max.

A causa di questa mancanza, risulta di fatto impossibile confrontare i livelli di potenza ricevuti da dispositivi diversi, per questo motivo le prestazioni dei sistemi di localizzazione basati su RSS sono profondamente influenzati dai dettagli implementativi relativi all'hardware.

l'RSSI in genere varia tra produttori di schede differenti, per questo i dispositivi 802.11 possono segnalare la potenza del segnale ricevuto utilizzando metriche differenti.

La modalità di localizzazione network-side evita questo potenziale problema, dal momento che tutte le misure di RSSI vengono eseguite dall'infrastruttura di rete e non dal dispositivo mobile.

Le implementazioni di infrastrutture di localizzazione WLAN che fanno uso del valore di RSSI, godono del vantaggio di non richiedere hardware specializzato.

Questa tecnica è molto interessante da un punto di vista costo prestazioni, tuttavia un inconveniente deriva dalle anomalie di propagazione dei segnali radio che comportano un degrado in termini di precisione e accuratezza.

Si osserva che alcuni device [3] non sono atti alla localizzazione per via di un andamento piatto dell'RSSI con la distanza, inoltre accade che la percezione dell'RSSI può essere differente anche per schede dello stesso produttore così come evidenziato nelle figure seguenti.

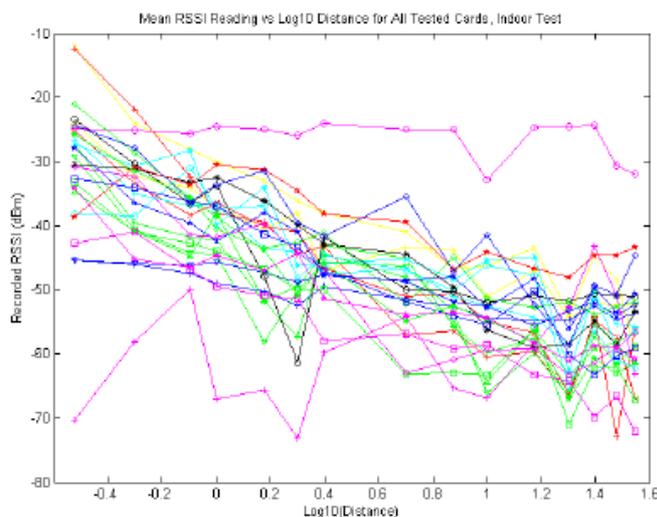


Figure 1. Recorded RSSI vs. Log10(distance) for all devices – indoor test

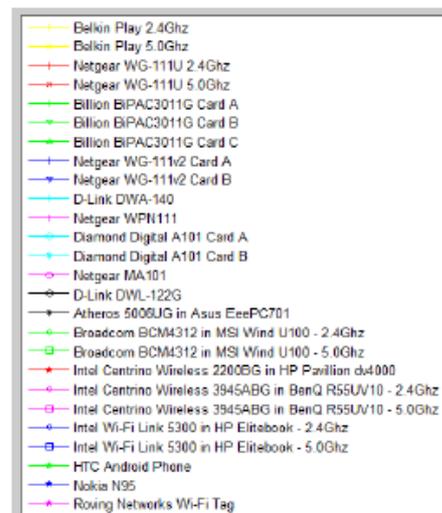


Figure 3. Legend for fig. 1 and 2

Caratterizzazione dell'RSSI in funzione della distanza per chipset wifi differenti (indoor)

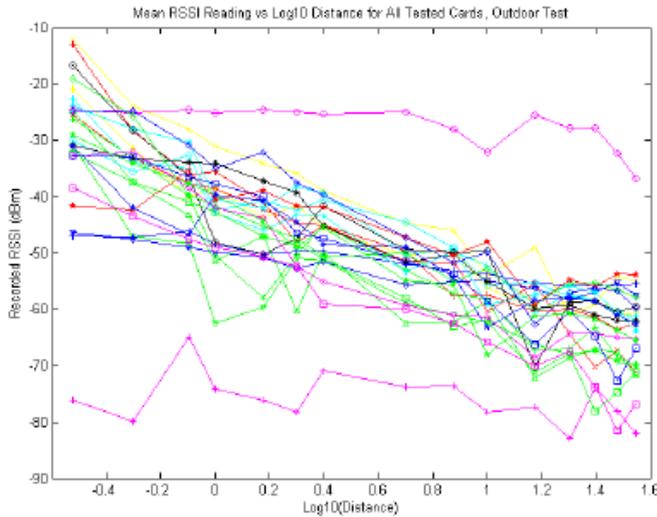


Figure 2. Recorded RSSI vs. Log10(distance) for all devices – outdoor test

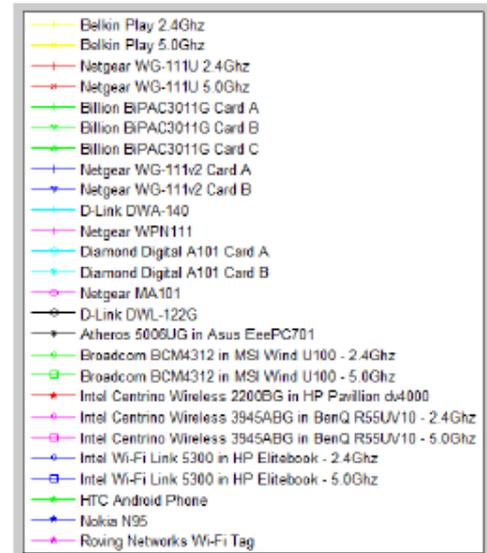


Figure 3. Legend for fig. 1 and 2

Caratterizzazione dell'rssI in funzione della distanza per chipset wifi differenti (outdoor)

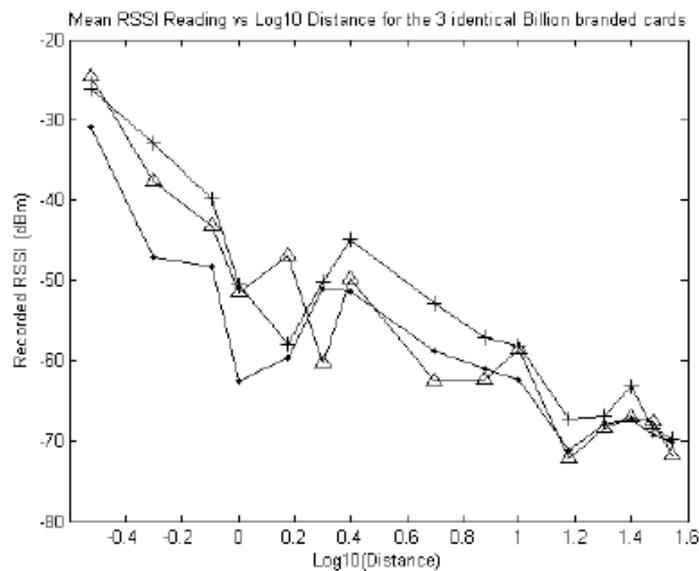


Figure 4. Three identical devices – outdoor test

Caratterizzazione dell'rssI in funzione della distanza per chipset wifi uguali

Aspetti hardware, firmware e driver legati all'RSSI

Le caratteristiche salienti dell'RSSI possono essere così riassunte:

- Misura eseguita a livello fisico del segnale ricevuto in antenna
- non esiste un numero di livelli minimo che è perciò definito dal produttore (variabile tra 0-255 livelli)
- problema derivante dall'AGC (*automatic gain control*) che varia il proprio livello continuamente in funzione di procedure di link e rate adaptation
- valore di RSSI deducibile mediante chiamate del sistema operativo ai driver della scheda.
- differente funzionamento se modalità network o client side (per via della potenza trasmessa lato client o percepita lato infrastruttura di cui si suppone avere un pieno controllo)
- necessarie procedure di equalizzazione in quanto schede diverse gestiscono la lettura dell'RSSI in modo differente
- problemi legati alle condizioni di propagazione del segnale radio che rendono la potenza ricevuta in antenna un processo aleatorio
- lo standard lo definisce utile per le operazioni di roaming tra AP e procedure di link adaptation
- è auspicabile che questo vari in funzione della distanza in un processo di localizzazione
- la variabilità dell'RSSI è imputabile a diversi aspetti legati a componenti deterministiche e aleatorie come: RSSI f(ANTENNA(gain_rx_tx, height, Ptx, orientamento), PATH LOSS (distanza, ambiente, shadow fading, frequenza di tx), AGC, FIRMWARE(chipset), DRIVER(mapping), APPLICAZIONE(s.o.))
- Il driver effettua un mapping del valore estratto dal byte rappresentativo dell'RSSI e viene fatto risalire il valore a livello kernel sia esso espresso in dbm o %
- granularità differente a secondo le schede , dipendente dall'implementazione firmware e soprattutto driver

L'ultimo punto è sostenuto dal fatto che il valore di conversione dell'RSSI differisce in modo anche netto tra produttori di schede wifi differenti; di seguito sono riportati tre esempi di gestione e mapping [4,5] dei valori di RSSI per tre produttori di schede differenti.

Conversione RSSI Atheros

- Atheros usa una formula per derivare il valore di potenza in dBm.
- $RSSI_Max = 60$
- sottrae 95 dal valore di RSSI per derivare il corrispettivo valore in dBm

$$RSSI = MAPPING_DRIVER (RSSI (0-60)) - (95dbm)$$

- il range dinamico in dBm spazia da -35dBm ad un livello di 100% e -95dBm a 0%.

Conversion RSSI per Symbol

- RSSI_Max = 31
- Conversione valore RSSI mediante la seguente tabella di lookup:

RSSI <= 4 è considerato -100dBm

RSSI <=8 è considerato -90 dBm

RSSI <=14 è considerato -80 dBm

RSSI <=20 è considerato -70 dBm

RSSI <=26 è considerato -60 dBm

RSSI > 26 è considerato -50dBm

- il range dinamico in dBm spazia da -50dBm a 100 dBm, a step di 10 dBm

Risulta essere uno dei casi più problematici per la localizzazione per via della discretizzazione dell'RSSI a soglia.

Conversione per Cisco

- Cisco ha un'ottima granularità come si evince da un esempio di tabella di lookup
- RSSI_Max = 100
- I valori di conversione dell'RSSI sono deducibili dalla seguente tabella, dove il valore di RSSI è posto sulla sinistra e il corrispondente valore in dBm è posto sulla destra.
- Il range dinamico va da -10dBm to -113dBm, il livello minimo di sensibilità del ricevitore è di -96dBm cioè non è possibile avere un valore di RSSI minore di 16. I valori di RSSI maggiori di 93 sono assegnati al valore di -10dBm, inoltre ci sono valori adiacenti di RSSI assegnati allo stesso valore di conversione

0	= -113	34	= -78	68	= -41
1	= -112	35	= -77	69	= -40
2	= -111	36	= -75	70	= -39
3	= -110	37	= -74	71	= -38
4	= -109	38	= -73	72	= -37
5	= -108	39	= -72	73	= -35
6	= -107	40	= -70	74	= -34
7	= -106	41	= -69	75	= -33
8	= -105	42	= -68	76	= -32
9	= -104	43	= -67	77	= -30
10	= -103	44	= -65	78	= -29
11	= -102	45	= -64	79	= -28
12	= -101	46	= -63	80	= -27
13	= -99	47	= -62	81	= -25
14	= -98	48	= -60	82	= -24
15	= -97	49	= -59	83	= -23
16	= -96	50	= -58	84	= -22
17	= -95	51	= -56	85	= -20
18	= -94	52	= -55	86	= -19
19	= -93	53	= -53	87	= -18
20	= -92	54	= -52	88	= -17
21	= -91	55	= -50	89	= -16
22	= -90	56	= -50	90	= -15
23	= -89	57	= -49	91	= -14
24	= -88	58	= -48	92	= -13
25	= -87	59	= -48	93	= -12
26	= -86	60	= -47	94	= -10
27	= -85	61	= -46	95	= -10
28	= -84	62	= -45	96	= -10
29	= -83	63	= -44	97	= -10
30	= -82	64	= -44	98	= -10
31	= -81	65	= -43	99	= -10
32	= -80	66	= -42	100	= -10
33	= -79	67	= -42		

Lookup table RSSI-RSS in dbm in una scheda Cisco

Il diverso mapping fa intuire la possibilità di avere accuratezze diverse da schede con chipset differenti per cui la calibrazione nel processo di fingerprinting nella fase off-line dovrebbe essere eseguita con una scheda di cui è possibile discriminare livelli differenti anche in zone adiacenti

Problematico è l'utilizzo di schede che hanno un basso range dinamico o un comportamento a gradini, tipicamente le uniche informazioni deducibili dalle schede wifi da datasheet dei diversi produttori sono la sensibilità del ricevitore correlata al SNR, e non vengono definite le lookup table per la conversione dell'RSSI.

ALTRI PARAMETRI INTERESSANTI

LQI (link quality indicator) indica la qualità di un link in termini di potenza del segnale, del BER (bit error rate), packet loss, data rate; il modo in cui è definito tale indicatore non è standardizzato, per cui ogni produttore di schede implementa il proprio algoritmo di calcolo

- si tratta di un valore solitamente compreso tra 0-60/100
- non è correlabile alla distanza in quanto, si potrebbe essere vicini all'AP ed avere un basso LQI per via di interferenze, viceversa essere lontani ed avere un elevato LQI perché non ci sono ostacoli tra trasmettitore e ricevitore

SNR (signal noise to ratio) si riferisce al livello di potenza di un segnale in ingresso al ricevitore in relazione a un tipo di rumore di fondo

- è utilizzato al fine di effettuare misure di link adaptation, in quanto minore è SNR, maggiore è la probabilità di errore e quindi il BER.
- tale parametro potrebbe essere correlato con la distanza in virtù dell'attenuazione, il minimo valore di RSSI apprezzabile che definisce anche la sensibilità del RX, è correlato al fatto che ad una certa distanza il ricevitore percepirà solo rumore

<u>Data Rate</u>	<u>Receive Sensitivity</u>
1 Mbps	-95 dBm
2 Mbps	-91 dBm
5.5 Mbps	-89 dBm
11 Mbps	-85 dBm

Esempio di valori di sensibilità del ricevitore deducibili da datasheet in funzione del tipo di modulazione adottato

2.6.2 Tecniche time based (Time of arrival)

La tecnica del Time of Arrival [6,7], consente di stimare la distanza che separa una coppia di nodi a partire dalla misura del tempo che impiega il segnale per propagarsi tra i due nodi.

Dalla conoscenza della velocità di propagazione del segnale è possibile determinare la distanza che separa trasmettitore e ricevitore e nel caso di segnali wifi si tratta di segnali a radiofrequenza la cui velocità è quella della luce nel vuoto.

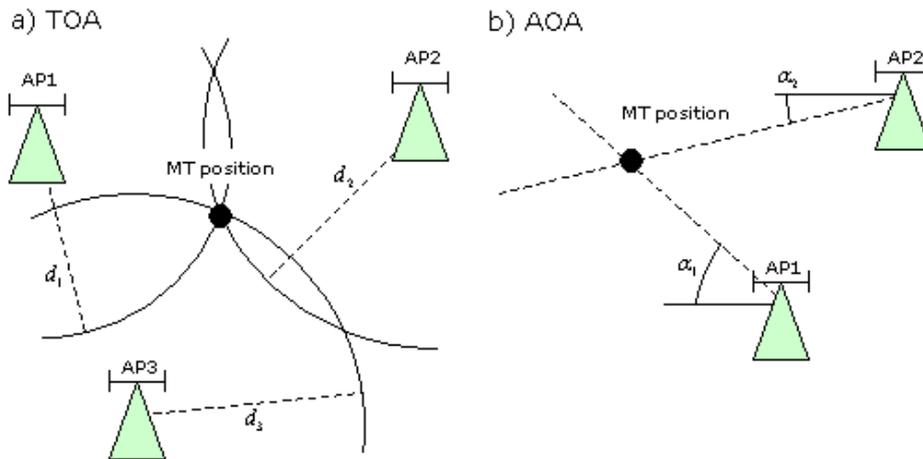
Appare subito evidente che tale tecnica richieda una stima accurata dei tempi di propagazione, cosa non banale, inoltre per poter applicare la tecnica del ToA è necessario conoscere il tempo di partenza del segnale.

Per poter apprezzare distanze di metri sarebbe necessario un hardware in grado di misurare tempi dell'ordine dei nanosecondi.

Le schede wifi attuali non consentono di misurare il TOA oltre al fatto che l'hardware non si presta, sorgerebbero problemi inerenti alla scelta degli eventi di trigger per il conteggio con un system count, latenze e ritardi di interstrato (es. codifica, sincronizzazione, ecc.), oltre a problemi di multipath e NLOS tra trasmettitore e ricevitore.

Lo standard di riferimento 802.11v, [8,9] in via simulativa mostra problemi inerenti al DCF (distributed coordination function) per scenari a media mobilità con aumento esponenziale delle latenze per ottenere una pseudodistanza.

Il problema principale di queste tecniche, risiede nella necessità di disporre di hardware in grado di assicurare risoluzioni temporali estremamente precise.



Approccio di localizzazione basato su Toa e AoA

2.6.3 Angle of arrival

La tecnica dell'AoA, [6] consente la localizzazione di un terminale mediante la determinazione dell'angolo di incidenza con il quale i segnali arrivano ai nodi riceventi.

Per derivare questi angoli, è necessario che stazioni base o terminali siano dotati di schiere di antenne, a seconda se il posizionamento è terminal o network-based.

Nella maggior parte dei sistemi di localizzazione dove la tecnica dell'AoA viene applicata, gli array di antenne sono solitamente disposti nelle stazioni base perché, per ragioni di costo e complessità, una soluzione terminal based è difficilmente praticabile.

Un inconveniente legato all'utilizzo dell'AoA è la sensibilità al multipath, per il quale riflessioni multiple su ostacoli potrebbero far arrivare il segnale alle antenne in ricezione da diverse direzioni. Tuttavia, tale tecnica può soffrire di una cattiva risoluzione delle schiere di antenne, e quindi l'angolo osservato potrebbe essere una grezza approssimazione dell'angolo effettivo.

Tale tecnica funziona bene in situazioni di LOS, ma soffre di accuratezza e precisione quando si confronta con le riflessioni dei segnali dovute alla presenza di oggetti nell'ambiente circostante.

Tale tecnica risulta essere scoraggiante nell'applicabilità ad un sistema di localizzazione indoor dove nascono problemi relativi al multipath, oltre al fatto che la tecnologia wifi non si presterebbe, se non con la necessità di introdurre hardware aggiuntivo.

2.7 Analisi dei device

2.7.1 Smartphone e relative problematiche (ios e android)

Sono il target della localizzazione in particolare sono telefoni cellulari basati su un sistema operativo per dispositivi mobili, con capacità di calcolo e di connessione avanzate.

I principali sistemi operativi mobili (OS) sono: Android, iOS, Symbian, Blackberry 10, Bada, Windows Phone, Open webOS e degli Embedded Linux come Maemo e MeeGo.

Produttori differenti implementano politiche restrittive relativamente all'uso di alcune funzionalità dello smartphone per determinati scopi, come Apple che vieta l'utilizzo delle API per la localizzazione indoor mediante uso dell'interfaccia wifi.

La tecnologia Apple ad oggi consente la localizzazione per prossimità mediante l'uso della tecnologia iBeacon, dove lo smartphone dotato di interfaccia bluetooth 4.0 consente di far risalire il valore di RSSI di segnali emessi da altri dispositivi bluetooth.

È previsto un tempo necessario all'interfaccia wifi per fare frequency hopping e scansionare gli AP vicini individuando i segnali di Beacon. Questo comporta che le misure di RSSI vengono fatte risalire in modo asincrono rispetto al tempo in cui viene effettuata la chiamata di sistema per ottenere il valore di RSSI.

Nel caso dei device Android, che sono oggetto della ricerca il package di riferimento `android.net.wifi.WifiManager` [10] consente mediante il metodo `getScanResults()` di ottenere il valore di RSSI inerente all'ultima scansione effettuata dal client.

Funzionalità utili nella localizzazione outdoor sono connessione GSM/GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA/HSUPA/LTE e utilizzo di interfacce GPS. Altrettanto utili nel caso indoor sono invece le tecnologie Bluetooth e Wi-Fi.

Funzionalità aggiuntive nella localizzazione potrebbero essere rese possibili dall'integrazione nel dispositivo mobile di sensori quali accelerometro e magnetometro che consentirebbero la navigazione mediante il Dead Reckoning.

2.7.2 Equalizzazione dell'rsi

È una procedura necessaria tutte le volte che si fa uso di hardware differente, in quanto come esposto precedentemente il valore di RSSI fornito da diversi produttori di schede WI-FI è prettamente dipendente dall'implementazione hardware e firmware della scheda.

La procedura di equalizzazione dovrebbe consentire, ossia riferire l'utilizzo di una radiomappa realizzata nel metodo del fingerprinting con un preciso hardware a diversi smartphone senza che ci sia un degrado in termini prestazionali nella localizzazione.

2.7.3 Access point embededeed linux

La scelta degli AP per le campagne di misura è ponderata dal fatto di utilizzare sistemi linux embedded, dotati di maggiore versatilità legata al fatto di poter intervenire su parametri convenzionali dello standard non settabili tipicamente negli AP di fascia commerciale.

Gli AP sono delle alix ap engine (alix2d2) [11] dotate di sistema operativo linux ubuntu 11.10 kernel 3.0. Tali AP dotati di 2 slot mini-pci sono equipaggiati di schede mini pci BCM4318KFBG in grado di supportare lo standard 802.11b-g.

L' applicativo per il funzionamento dell'alix in modalità AP è l'hostapd.



alix ap motherboard sulla sinistra, visione di insieme dell'alix2D2 sulla destra

DATI TECNICI ALIX 2D2

alix2d2	System board
---------	--------------

Status	Active
--------	--------

Part numbers	alix2d2 = 2 LAN / 2 miniPCI / LX800 / 256 MB / USB
--------------	--

Spec	<ul style="list-style-type: none">• CPU: 500 MHz AMD Geode LX800• DRAM: 256 MB DDR DRAM• Storage: CompactFlash socket, 44 pin IDE header• Power: DC jack or passive POE, min. 7V to max. 20V• Three front panel LEDs, pushbutton• Expansion: 2 miniPCI slots, LPC bus
------	--

- Connectivity: 2 Ethernet channels (Via VT6105M 10/100)
- I/O: DB9 serial port, dual USB port
- Board size: 6 x 6" (152.4 x 152.4 mm) - same as WRAP.1E
- Firmware: tinyBIOS

Customer options

I2C bus, buzzer, RTC battery

Changes from ALIX.2C

- Increase USB current limit.
- USB headers as build option.
- USB ports 3 and 4 on header (not tested).
- Change optional serial header J12 to COM2.
- Add LED and switch pins to I2C header.
- Populate buzzer driver circuit, add pins for use as GPIO.
- Add option for power in header J18.
- Some enhancements to reduce EMI.
- Add second POSCAP to ruggedize 3.3V rail for high power radio cards.

Manufacturer

PC Engines

Origin

Taiwan

Support info

ALIX.2 series

DATI TECNICI BCM4318KFBG 802.11 BG WIRELESS LAN MINI PCI CARD

General Features:

- Broadcom BCM4318KFBG chipset
- 32-bit Mini PCI host interface
- IEEE 802.11g and IEEE 802.11b standards
- 54 Mbps data transfer rate
- RoHS compliant

WiFi™ Mini pci



Scheda mini pci Broadcom BCM4318KFBG



3 Localizzazione su WLAN

3.1 Principi del posizionamento WLAN

I sistemi di posizionamento WLAN che sono stati sviluppati e sono disponibili ad oggi come prodotti commerciali, sono basati su misure di RSS, sul rapporto segnale rumore ricevuto (SNR) o sul proximity sensing [7].

Osservazioni di RSS e SNR sono basate sui segnali che sono trasmessi sia in uplink o in downlink, tra AP e terminale mobile.

All'arrivo di un tale segnale, il ricevitore, ossia l'interfaccia standard della maggior parte dei dispositivi WLAN, misura il RSS o SNR per essere usato nel processo di localizzazione.

Per le misure in uplink, i terminali mobili devono espressamente generare dei beacon, che vengono ricevuti da tutti gli AP che sono nel range di copertura del terminale; questo è un approccio di base per la realizzazione di metodi di posizionamento network-based.

Per misure in downlink, una caratteristica standard delle WLAN nota come passive scanning può essere utilizzata; in particolare i terminali mobili eseguono continuamente la scansione passiva per individuare gli AP vicini e selezionare il migliore per la trasmissione.

A tale scopo, ciascun AP emette periodicamente un beacon, che porta con se diversi parametri come timestamp, velocità di trasmissione dati supportata e l'identificatore di cella dell'AP, il cosiddetto Basic Service Set Identifier (BSSI).

Il terminale ascolta sui diversi canali possibili la ricezione dei beacon dagli AP vicini, ne registra i parametri e misura i valori di RSS e SNR.

Il terminale mobile può anche operare un active scanning inviando un probe request con il quale sollecita tutti gli AP nel range a rispondere con un beacon. Pertanto, sia la scansione attiva e passiva possono servire come base per realizzare un posizionamento terminal-based o terminal assisted.

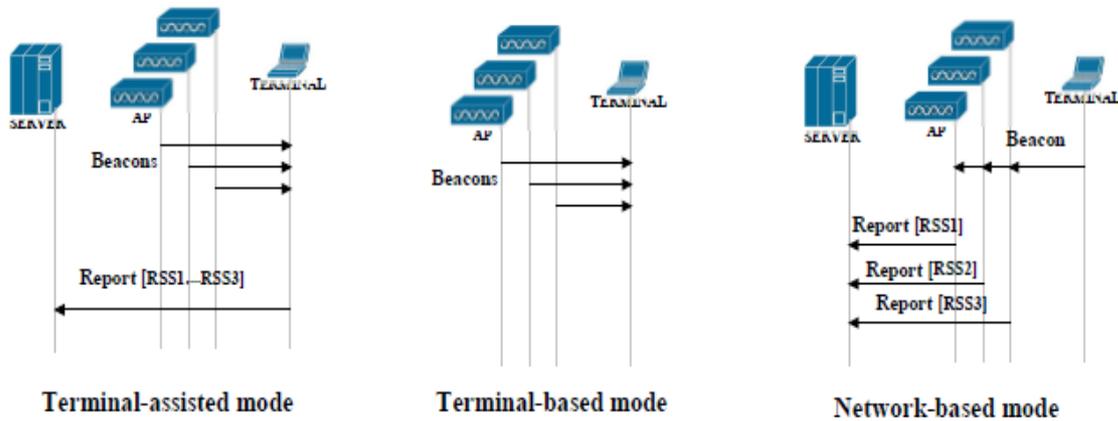
L'osservazione dei beacon sia in downlink o uplink, porta all'utilizzo di tre metodi base di posizionamento utilizzati in una WLAN come Proximity sensing, Lateration e Fingerprinting.

La localizzazione del terminale mobile può avvenire in tre modalità distinte:

- *Terminal-assisted mode*. In questo caso il terminale che si vuole localizzare effettua le misure di RSSI, ma è il server di localizzazione ad effettuare la stima della posizione.
- *Terminal-based mode*. In questo caso il terminale effettua le misure di RSSI ed effettua la stima della posizione.
- *Network-based mode*. In questo caso le misure di RSSI sono effettuate lato AP, successivamente il server di localizzazione effettua la stima della posizione del target

Le tre modalità implicano esigenze topologiche, progettuali e concettuali differenti.

La scelta tra i diversi metodi da adoperare dipende principalmente dal tipo di servizio che deve essere offerto, ad esempio dall'entità che dovrà processare dati e dalla capacità dei dispositivi mobili utilizzati.



modalità di localizzazione del terminale

3.2 Localizzazione network-side

3.2.1 Modelli di pianificazione Cisco

La pianificazione per un'infrastruttura dati e localizzazione segue logiche differenti.

Per le prime è necessario sviluppare un'infrastruttura che consenta la ricezione del segnale con un adeguato *SNR* (Signal to Noise Ratio), nel caso della localizzazione la necessità di avere una copertura di segnali da diversi AP con un valore di potenza specifico.

È possibile definire un'infrastruttura che sia un trade-off tra le due contrapposte necessità di rete dati e localizzazione.

Regole di base per una corretta pianificazione di un'infrastruttura di localizzazione sono quelle derivate dalla metodologia Cisco [6], che prevede un sistema ibrido di localizzazione network e client side. L'uso di dispositivi wifi e compliant consente una localizzazione con accuratezza di 10m nel 90% dei casi.

Il processo di localizzazione, soprattutto nel fingerprinting inizia con la definizione topologica, segue il planning, la calibrazione automatica e manuale, operazione di site survey per analizzare la configurazione del campo e testare successivamente l'efficienza della calibrazione.

Gli step della metodologia Cisco prevedono:

- Definizione del modello di pathloss (dual band, tipologia di ambiente)
- Utilizzo di editor map per affinare i modelli ad esempio inserendo ostacoli presenti realmente nell'ambiente ed indicando i livelli di attenuazione; vi è inoltre la possibilità di partizionare gli ambienti e utilizzare a zona modelli di pathloss nello stesso ambiente
- Ispezione diretta (manuale) per verifica dell'accuratezza di localizzazione, o mediante checkpoint fissi

CISCO LOCATION BASED (RSSI CUTOFF)

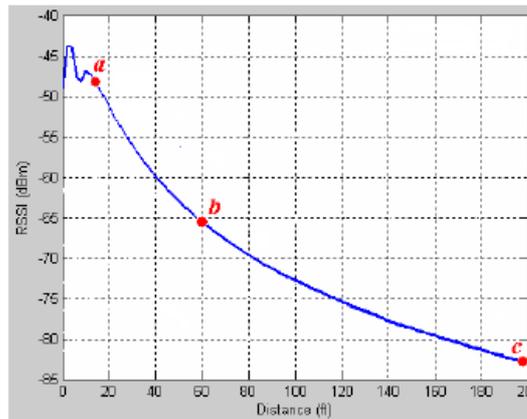
Viene definita una soglia molto utile per definire i valori di RSSI che verranno utilizzati nella fase on line e offline del metodo del fingerprinting ai fini della localizzazione (tale valore è fissato da Cisco in molti casi a -75 dbm).

Appare evidente che apprezzare valori di potenza per il quale la curva RSSI/distanza si adagia su un asintoto orizzontale non risulta essere molto utile, poiché non permette di apprendere variazioni significative di distanza.

Questo ha una notevole implicazione in fase di planning in quanto la copertura degli AP deve essere tale da soddisfare i vincoli di potenza.

I valori percepiti dagli AP che sono inferiori all'RSSI di cutoff non vengono considerati ai fini della localizzazione secondo la logica Cisco.

Può accadere che l'andamento dell'RSSI non manifesti una diminuzione con la distanza per effetti dovuti alla propagazione, all'altezza dell'antenna dal suolo, alle riflessioni, ecc..



Variazione dell'rsi con la distanza

Per i dispositivi mobili essere localizzati con un certo livello di precisione e accuratezza almeno tre AP devono ricevere un segnale con un RSSI che sia maggiore della soglia di cutoff, per il tracking è necessario avere la visibilità di almeno 16 AP.

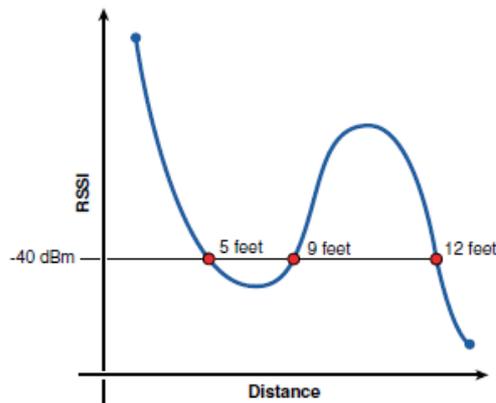
ACCESS POINT SEPARATION

Un'eccessiva distanza inter access point può sminuire la precisione non fornendo sufficiente differenziazione della potenza del segnale a distanza estesa, una distanza troppo bassa può esporre il sistema ad anomalie legate alla vicinanza dell'antenna.

Dal punto di vista delle applicazioni voce e dati la distanza inter access point è legata al rapporto segnale rumore (SNR), viceversa nelle tecniche di localizzazione le distanze devono essere tali che l'RSSI in funzione della distanza possieda un comportamento monotono decrescente con la distanza.

Per evitare comportamenti oscillanti dell'RSSI in funzione dell'antenna è necessario porre l'AP ad una certa altezza dal suolo cercando di garantire una visibilità su 360°.

Anomalie della propagazione radio si possono avere quando si è in prossimità dell'AP e viene percepito lo stesso valore di RSSI a distanze diverse, ma comunque vicine. Un caso tipico di comportamento non monotono dell'rsi è quello indicato nella figura seguente.



comportamento non monotono dell'rsi per via di anomalie della propagazione radio

Per evitare il fenomeno precedente è desiderabile osservare il comportamento del segnale in prossimità degli AP e se necessario porli quindi ad una distanza opportuna.

La distanza ha ulteriori implicazioni poiché potrebbero sorgere problemi legati all'interferenza co-canale che comprometterebbe l'utilizzo della WLAN per la trasmissione dati.

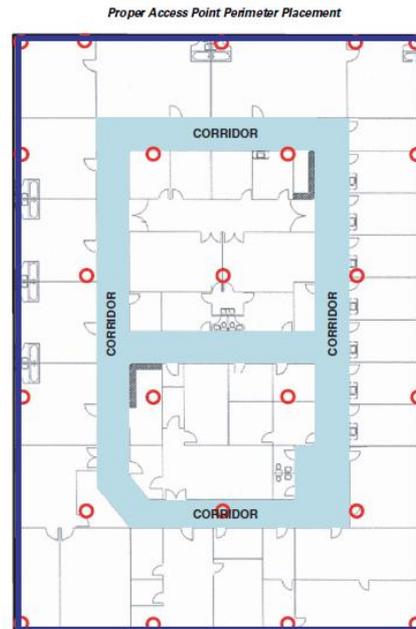
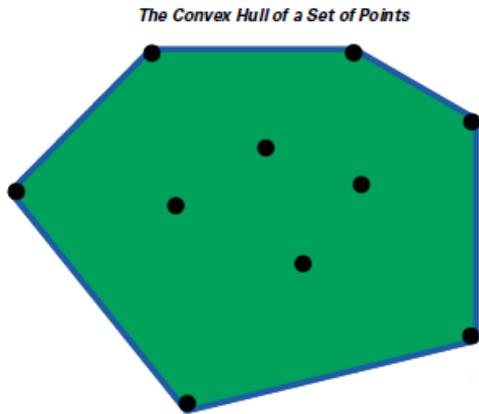
A titolo di esempio alcuni parametri Cisco per un'infrastruttura dati voip e localizzazione, che ovviamente si differenziano a secondo i casi sono:

Cisco 7921 VoWlan RSSI CUTOFF=-67dbm overlap intra-cell=20%

SNR=25db 802,11g dist_intra_cell=32feet dim_cella=24 feet

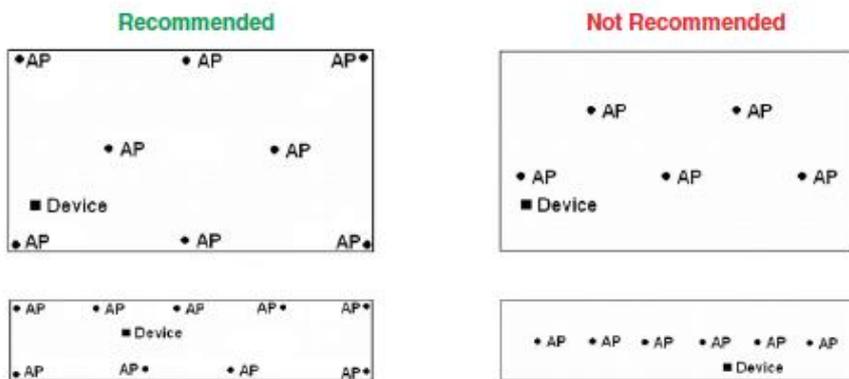
CISCO ACCESS POINT PLACEMENT

La disposizione degli AP segue quello che è noto come CONVEX HULL, che definisce il poligono dove all'interno devono essere posti gli AP e dove l'accuratezza di localizzazione deve risultare necessariamente maggiore. All'esterno di tale area si ha una forte degradazione dell'accuratezza di localizzazione.



Una distribuzione perimetrale è preferibile per ottimizzare la copertura degli AP all'interno della zona di interesse.

Basic Example of Location-Aware Access Point Deployment



Distribuzione degli AP

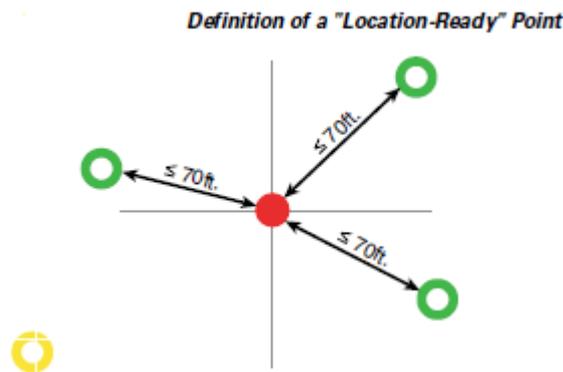
Antenna Orientation

L'orientamento dell'antenna costituisce un fattore molto importante per la definizione dei modelli predittivi, inoltre è raccomandato l'uso di antenna diversity lato AP in grado di assicurare un maggiore throughput in ambienti con alto multipath.

CISCO PLANNING TOOL FOR COVERAGE

Oltre al planning degli AP e la valutazione delle performance del fingerprinting, è importante osservare se ogni punto possibile dove il target può trovarsi è location ready point, cioè se sono soddisfatte le seguenti:

- Almeno quattro AP vengono distribuiti sul piano
- Almeno un AP risiede in ogni quadrante attorno al punto in questione
- Almeno un AP che risiede in ciascun quadrante si trova a meno 70 feet dal punto in questione.



Location ready point così come definito nella metodologia Cisco

CISCO PLANNING (INTER-CELL OVERLAP)

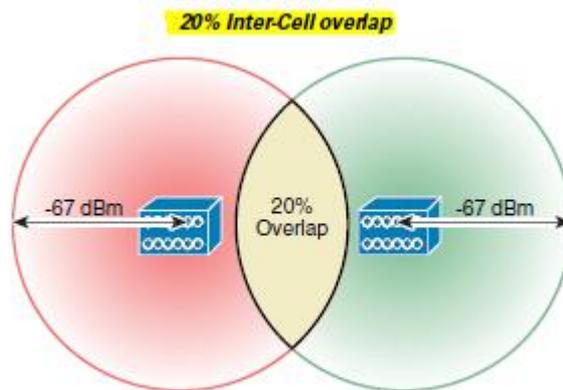
L'overlap può anche comportare problemi relativamente al fatto che in un'infrastruttura ibrida per dati e localizzazione, il roaming potrebbe essere frequente comportando un eccesso di ritrasmissioni e cambio di rate (problemi con il DCF).

Un esempio di parametri su cui si basa l'overlap nel metodo Cisco sono i seguenti:

Ptx rssi_cutoff radius overlap

802.11 b-g 5 dbm -67 dbm 28,72 15 %

802.11 a 11 dbm -67 dbm 31 20 %



esempio di overlap delle celle di copertura degli AP

La copertura nella localizzazione network side deve essere tale che il client deve trasmettere con una potenza utile a raggiungere il ricevitore, viceversa nella modalità client side per poter ricevere un certo numero di AP.

Determinato il raggio della cella si determina il tx power, valore che può essere variato dinamicamente (allargando il raggio di copertura della cella ad esempio se un AP non dovesse essere più operativo, o diminuendolo nel caso di interferenze).

Alcune delle regole Cisco possono essere generalizzate, altre vanno considerate in funzione del caso in esame.

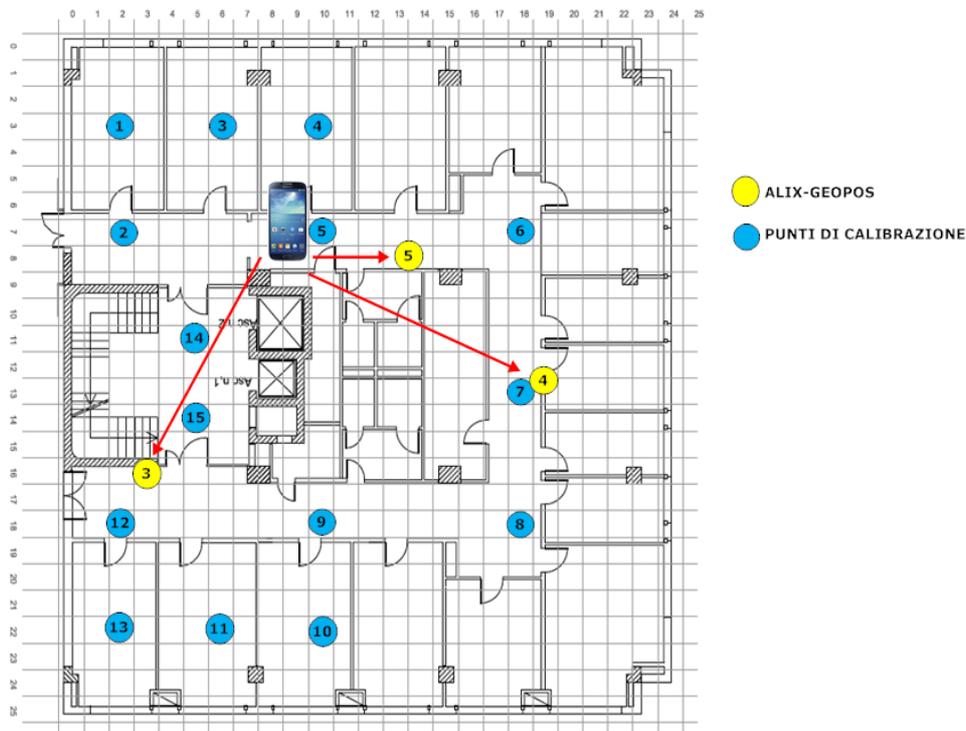
3.2.2 Misure Network Side

Al fine di effettuare delle misure network side è stata sviluppata un'applicazione mobile per smartphone android che consentisse la creazione di uno stream UDP, verso un ap con il quale è mantenuta un'associazione in modo da consentire agli AP posti in modalità monitor di poter effettuare delle misure.

Setup network side

- Smartphone di test Samsung Galaxy s4 con android 4.3 (API level 19)
- 3 alix disposte nel piano 2° dell'ICAR-CNR
- interfaccia wifi su canale 6 (MINI PCI BCM4318)
- Alix-geopos-5 (MONITOR + AP)
- Alix-geopos-4 (MONITOR)
- Alix-geopos-3 (MONITOR)

Una nota da considerare è che in ALIX 5 non vi è possibilità di diversity di antenna in quanto si stanno utilizzando due mini pci, inoltre il target mobile è un galaxy s4 che risulta essere associato all'alix-geopos-5.



ambiente di test (icar-cnr 2° piano)

Sono stati considerati rispettivamente 15 Punti di calibrazione su cui sono state effettuate le misure su uno stream che consiste di 5 flussi separati di 500 pacchetti UDP inviati dal mobile all'alix 5 con il quale mantiene un'associazione.

Si è analizzata una topologia dove si è cercato di ottimizzare copertura dati e localizzazione; inoltre in tutte le misure è stato mantenuto lo stesso orientamento sia del mobile che della persona addetta alla misura

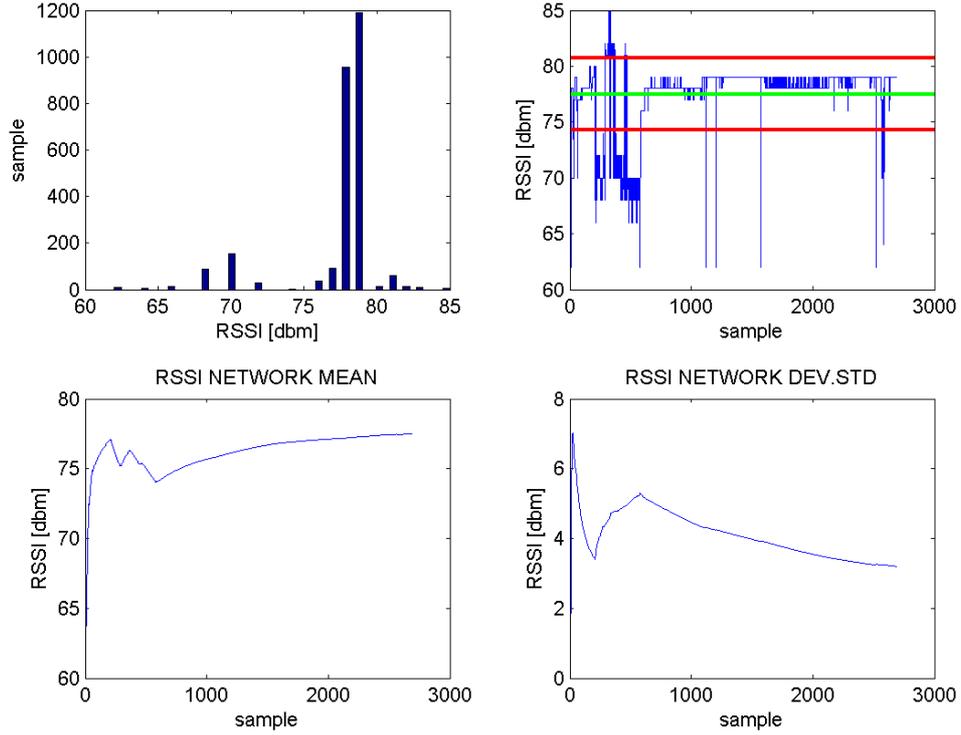


disposizione degli AP rispettivamente l'ALIX-GEOPOS-4 su piedistallo, e l'ALIX-GEOPOS-3-5 su parete

Le letture di RSSI vengono valutate sul traffico generato dal mobile (UDP) e che risulta avere un rate di trasmissione variabile. Contestualmente è stato anche analizzato l'RSSI generato dagli ACK inviati dal mobile verso gli AP e che sono trasmessi in basic rate.

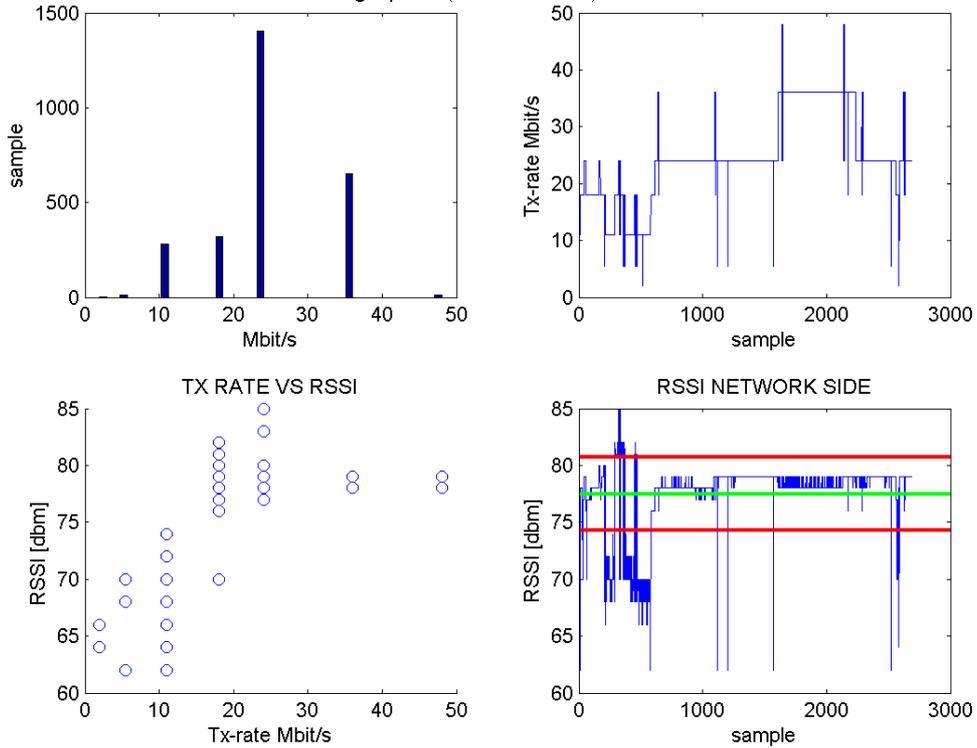
Alcuni risultati derivanti dall'analisi dell'rssi sono esposti nelle figure seguenti

il NETWORK SIDE: ssid: ALIX-GEOPOS alix-geopos-5 (AP+MONITOR) ch.6 RSSI NETWORK SIDE

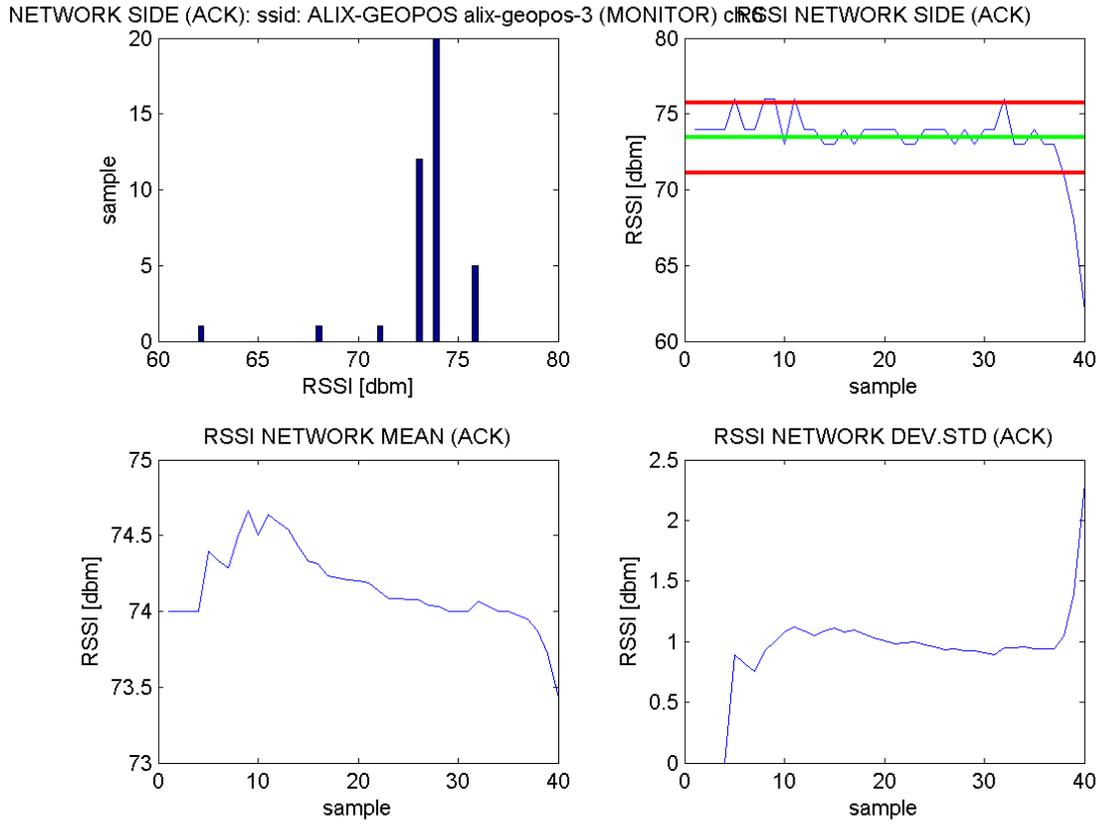


misura pattern 1 (alix-geopos-5) su stream UDP

il NETWORK SIDE: ssid: ALIX-GEOPOS alix-geopos-5 (AP+MONITOR) ch.6 TX RATE NETWORK SIDE

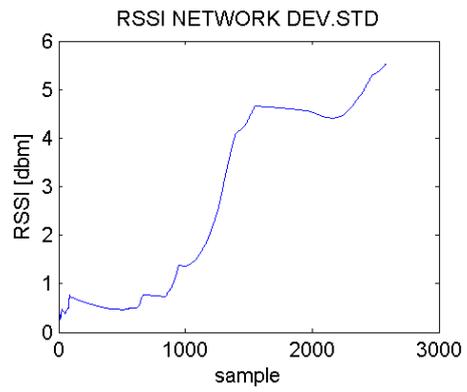
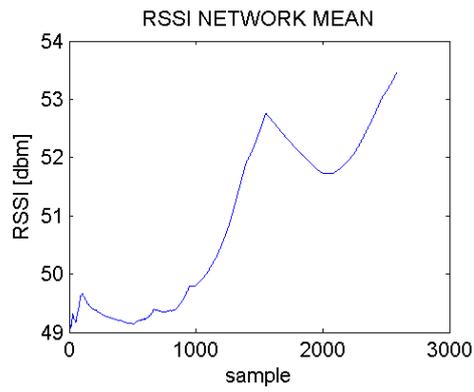
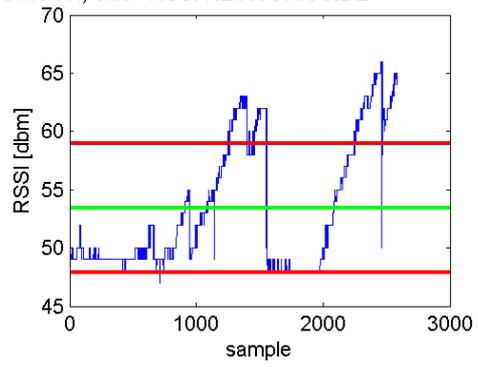
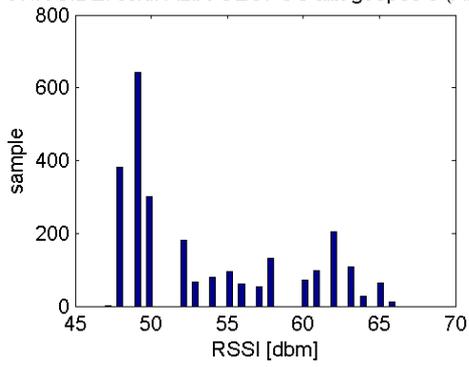


misura pattern 1 (alix-geopos-5) su stream UDP (RSSI vs TX rate)



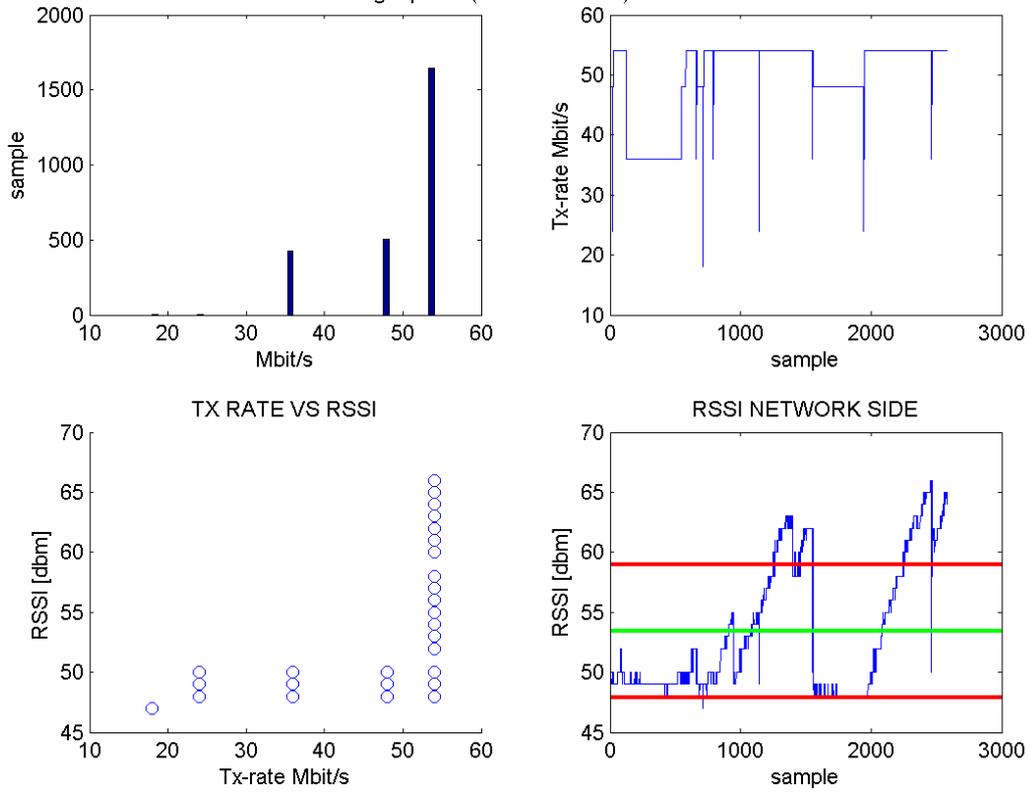
misura pattern 1 (alix-geopos-5) su ACK

il NETWORK SIDE: ssid: ALIX-GEOPOS alix-geopos-5 (AP+MONITOR) ch.6 RSSI NETWORK SIDE

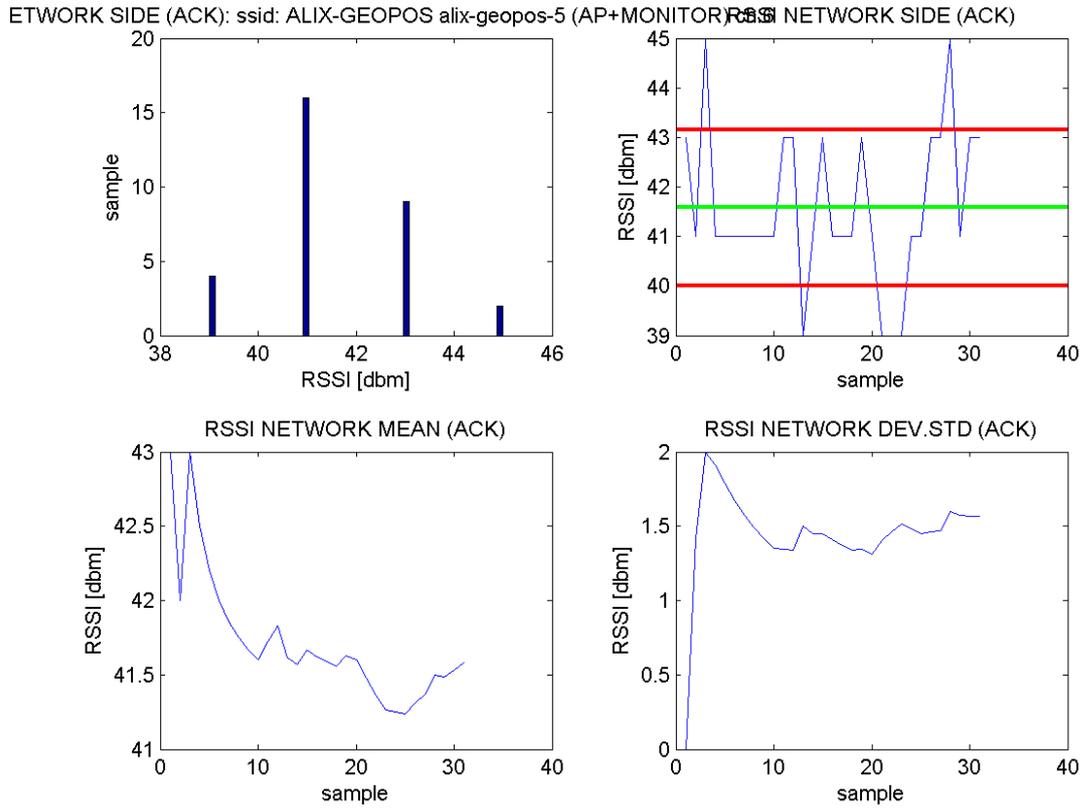


misura pattern 5 (alix-geopos-5) su stream UDP

il NETWORK SIDE: ssid: ALIX-GEOPOS alix-geopos-5 (AP+MONITOR) ch.6 TX RATE NETWORK SIDE

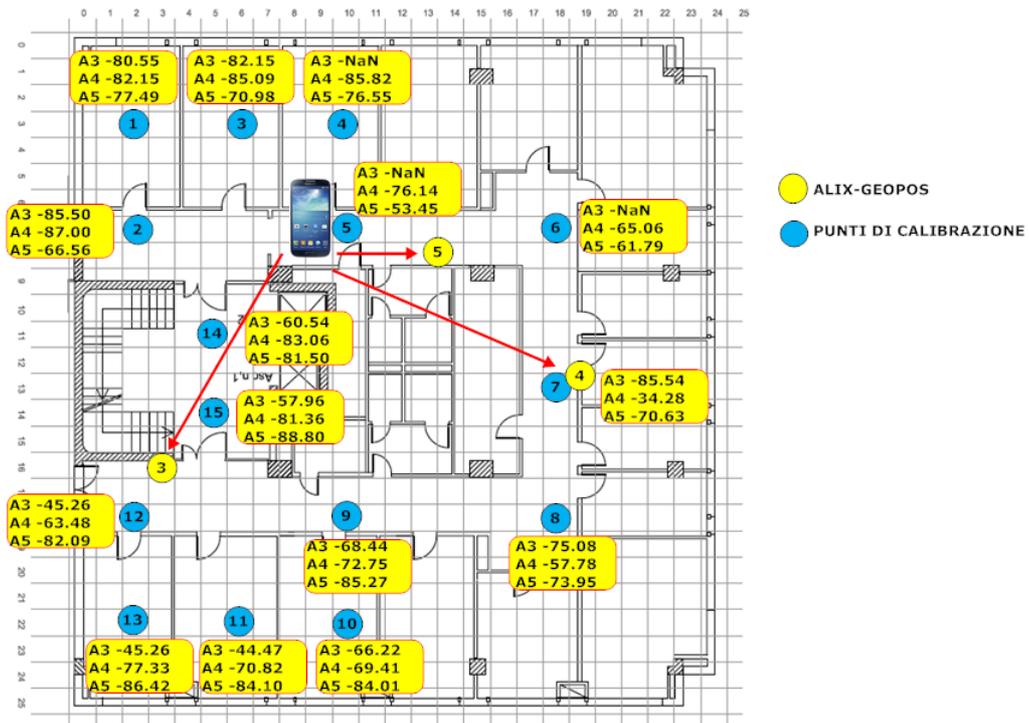


misura pattern 5 (alix-geopos-5) su stream UDP (RSSI vs TX rate)

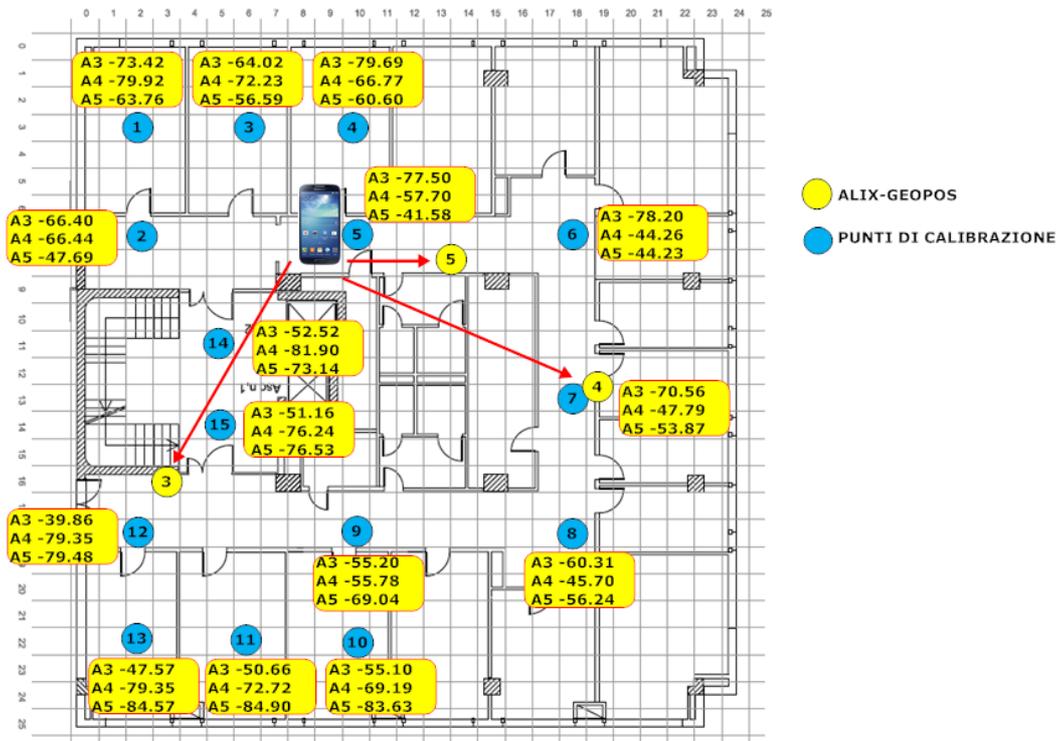


misura pattern 5 (alix-geopos-5) su ACK

I valori medi dei pattern nei punti di calibrazione utilizzando le misure di rssi sullo stream udp e sugli ack sono esposti nella figura seguente.



Valori medi dei pattern nei punti di calibrazione utilizzando le misure di rssi sullo stream udp



Valori medi dei pattern nei punti di calibrazione utilizzando le misure di rssi sugli ack

Si osserva che le misure UDP di alix-geopos-3 riguardanti i pattern n° 4,5,6 sono assenti, ma sono presenti quelle relative agli ACK che dimostrano come già il valore di potenza del segnale ricevuto negli stessi punti sia nei limiti della sensibilità del ricevitore.

3.2.3 Problema di link adaptation e discretizzazione rssi

La modalità network side mostra come ci sia una correlazione tra il bit rate (variabile in funzione della modulazione adottata) e il valore di rssi percepito dalla scheda wifi.

In funzione delle procedure di link adaptation viene cambiato il tipo di modulazione ed è quello che effettivamente succede quando il mobile invia uno stream UDP. Dai grafici che riportano il tx rate in funzione dell'rssi si osserva che questo sembra assumere un range dinamico dipendente dal rate di trasmissione.

Questo denota che non è possibile determinare dei punti di calibrazione in modalità network side con uno stream UDP, ma bisognerebbe discriminare i pattern relativi ad un particolare rate di trasmissione.

Gli ack vengono mandati in basic rate a potenza maggiore, facendo uso quindi di una modulazione più robusta, in questo caso i valori di rssi si assestano su un ben preciso range dinamico. Si osserva come la media converga con pochi sample delineando dei valori di deviazione standard molto bassi.

Tipicamente si osserva che il numero di pacchetti dalle interfacce in modalità monitor non è sempre lo stesso, ma è variabile, questo perché i frame percepiti da AP lontani dal target risultano avere dei bassi valori di potenza e soprattutto un rate di trasmissione piuttosto basso, che fa uso di modulazioni più robuste.

PROBLEMI E CONSIDERAZIONI CONNESSE ALLA MODALITÀ NETWORK SIDE

- le interfacce in modalità monitor possono stare su un unico canale (è impensabile che all'interno di un infrastruttura dati tutti gli AP stiano su un unico canale, per i problemi derivanti da interferenze)
- necessità di ricercare un planning sub-ottimo, che consenta di fare hopping alle interfacce in modalità monitor tra i diversi canali
- il numero di dati percepito dalle interfacce wifi in monitor comprende tutto il traffico percepito nella rete su un determinato canale, per cui sarebbe eccessiva la mole di dati da analizzare per un'eventuale localizzazione
- per un eventuale localizzazione sarebbe necessaria una sincronizzazione delle alix mediante ntp
- necessità di correlare l'RSSI con i valori di rate di trasmissione
- un approccio di utilizzo network side sarebbe utile per poter creare un sistema infrastrutturato di ca-ricolazione automatico delle radiomappe create nella fase offline mediante fingerprinting. In questo caso si potrebbero correlare le misure prese dai diverse alix dei beacon ricevuti dai vari AP e utilizzare le misure reciproche prese negli stessi istanti, per poter osservare situazioni di shadow fading che indicherebbero la necessità di variare dinamicamente le mappe radio
- rispetto la modalità client side è auspicabile che tale modalità di localizzazione si basi su proximity sensing e non pattern matching per ovvie problematiche di analisi in real time di una mole eccessiva di dati catturati dalle interfacce in modalità monitor
- il problema relativo alla variabilità del RSSI misurato in modalità network side non sussiste in modalità client side, in quanto i beacon sono sempre inviati in basic rate
- Si potrebbe pensare ad un approccio di localizzazione dove sia la rete a stimolare il client e quindi sarebbe possibile effettuare le misure non sulla trasmissione UDP del client, ma sugli ACK inviati in risposta alla rete.

3.3 Localizzazione client side

3.3.1 Modelli di path loss

Un'operazione di calibrazione è necessaria ogni qual volta vengono inseriti AP, in presenza di cambi topologici, nuova presenza di muri, armadi che alterano la densità degli ambienti, ecc. o variazioni delle condizioni elettromagnetiche generate da effetti di shadowing, tempovarianza del canale, ecc...

In generale vi è la possibilità di utilizzare modelli che lavorano in dual band (2.4 – 5 Ghz).

È semplicistico supporre in un ambiente lo stesso gradiente di pathloss, per questo si ricorre a dei modelli partizionati dove risulta fondamentale fare una distinzione tra i vari tipi di ambienti indoor (ostruiti, parzialmente ostruiti, corridoi), semi-indoor, outdoor dove le condizioni di propagazione sono diverse e quindi i modelli di propagazione sono differenti.

Modelli differenti dovrebbero essere utilizzati a secondo le condizioni di tempovarianza, in generale potrebbero essere adattativi (usando dei checkpoint fissi che effettuano delle misure, utili anche per localizzazione di prossimità) o statici, in funzione delle ore del giorno (considerando locali altamente frequentati, locali semi vuoti).

I modelli di propagazione applicati all'ambiente specifico sono accompagnati da informazioni quali la presenza di ostacoli in muratura, porte e di altri oggetti ingombranti.

L'utilizzo combinato di tecniche predittive del segnale elettromagnetico e di confronto con misure prese a campione in posizioni selezionate può condurre ad un miglioramento delle prestazioni della localizzazione.

Un modello di path loss molto utilizzato in ambiente indoor è il seguente:

$$PL = PL_{1meter} + 10 \log(d^n) + s$$

- PL rappresenta il path loss tra il ricevitore e il trasmettitore espresso in db

- PL_{1meter} rappresenta il path loss di riferimento in db alla frequenza di interesse quando ricevitore e trasmettitore sono a distanza di 1 metro
- d rappresenta la distanza tra ricevitore e trasmettitore in metri
- n esponente di path loss per l'ambiente in questione
- s rappresenta la deviazione standard associata al grado di shadow fading presente nell'ambiente, ed espresso in db; tale parametro rappresenta una misura della variabilità della potenza del segnale (a volte indicato come "rumore") dovuto a fattori non inclusi nel path loss come l'attenuazione dovuta al numero di ostacoli presenti nell'ambiente, le differenze di orientamento tra le antenne del ricevitore e trasmettitori , riflessioni dovute al multipath, e così via .

n	Ambienti
2	Spazio libero (vuoto)
2.5	Outdoor - aree rurali
3-4	Outdoor - aree urbane
4-5	Outdoor - aree urbane dense
1.6-1.8	Indoor - aree molto ampie e corridoi
4-6	Indoor - ambienti NLOS

Valori dell'esponente di path loss in ambienti diversi

In generale un metodo più dettagliato di calcolare la potenza al ricevitore è considerare la potenza trasmessa, il path loss, il guadagno di antenna, le perdite dei cavi:

$$RX_{pwr} = TX_{pwr} - Loss_{TX} + Gain_{TX} - PL + Gain_{RX} - Loss_{RX}$$

Da cui è possibile derivare la distanza che separa ricevitore e trasmettitore:

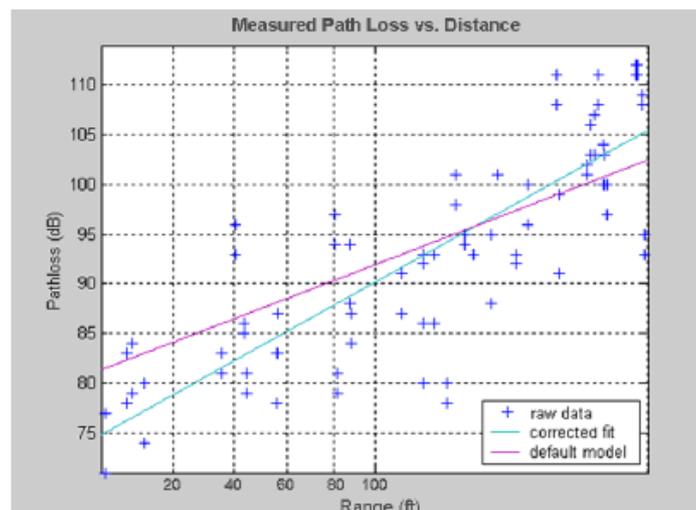
$$d = 10^{\frac{(TX_{pwr} - RX_{pwr} - Loss_{TX} + Gain_{TX} - PL_{1meter} + s + Gain_{RX} - Loss_{RX})}{10n}}$$

- RX_{pwr} rappresenta il livello di potenza del segnale ricevuto in dB
- TX_{pwr} rappresenta il livello di potenza del segnale in uscita dal trasmettitore in dB

- $Loss_{TX}$ rappresenta la somma delle perdite lato trasmettitore dei cavi e connettori
- $Gain_{TX}$ rappresenta il guadagno in antenna lato trasmettitore in dBi
- $Loss_{RX}$ rappresenta la somma delle perdite lato ricevitore dei cavi e connettori in dB
- $Gain_{RX}$ rappresenta il guadagno in antenna lato ricevitore in dBi

Modelli molto più accurati sono quelli che prevedono l'utilizzo di sotto-modelli di propagazione specifici per ambienti diversi, in quanto l'approccio corretto sarebbe quello di usare più modelli all'interno dello stesso ambiente per descrivere zone diverse.

La tecnica del minimum mean square error (MMSE) è usata per ottenere i valori che caratterizzano i modelli di path loss negli ambienti specifici.



Applicazione del minimum mean square error per la caratterizzazione del path loss

3.3.2 Tecniche di fingerprinting nella fase on-offline Algoritmi di pattern matching

3.3.3 Algoritmi di pattern matching

Le tecniche di localizzazione basate su radio-mappa possono essere classificate in due grandi categorie: tecniche deterministiche e tecniche probabilistiche.

Le tecniche deterministiche rappresentano il segnale di Access Point in una posizione usando un valore scalare, ad esempio, il valore medio, e utilizzano approcci non-probabilistici per stimare la posizione dell'utente. Ad esempio, nel sistema Radar [12], gli autori utilizzano tecniche di nearest neighborhood per dedurre la posizione dell'utente.

Le tecniche probabilistiche, memorizzano le informazioni sulle distribuzioni di intensità del segnale degli AP nella mappa radio e utilizzano tecniche probabilistiche per stimare la posizione dell'utente. I primi metodi probabilistici modellavano la distribuzione di RSSI ad ogni posizione di fingerprint come un istogramma, e utilizzavano come probabilità a priori in un quadro Bayesiano, per calcolare la probabilità di avere un'istogramma di RSSI specifico in una nuova posizione utilizzando reti Bayesiane [13,14] o l'algoritmo Naive Bayes [15].

L'approccio Bayesiano si propone di sfruttare le informazioni a priori relative al movimento, per migliorare la stima che si otterrebbe applicando il criterio di massima verosimiglianza:

$$\hat{x}_t = \operatorname{argmax}_{x_t \in Xp(s_t|x_t)}$$

Dato l'insieme di misurazione $s_{1:t} = [s_1 \cdots s_t]$ la funzione densità di probabilità a posteriori (pdf), $p(x_t|s_{1:t})$ dello stato, si ottiene ricorsivamente:

$$p(x_t|s_{1:t}) \propto p(s_t|x_t)p(x_t|s_{1:t-1})$$

con $p(x_t | s_{1:t-1}) = \int_X p(x_t | x_{t-1}) p(x_{t-1} | s_{1:t-1}) dx_{t-1}$.

Anche la pdf a-priori $p(x_t | s_{1:t-1})$ è ottenuta in modo iterativo, sfruttando la pdf a-posteriori al passo precedente $p(x_{t-1} | s_{1:t-1})$ e la probabilità di transizione $p(x_t | x_{t-1})$ per $t > 1$. La stima è ottenuta inizializzando con $p(x_t | s_{1:t-1}) = p(x_1)$ per $t = 1$. Una volta calcolata la pdf a-posteriori usando (1), la stima dello stato x_t può essere ottenuta utilizzando il criterio MAP (Maximum A Posteriori)

$$\hat{x}_t = \operatorname{argmax}_{x_t \in X} p(x_t | s_{1:t})$$

o MMSE (Minimum Mean Square Error)

$$\hat{x}_t = \int_X x_t p(x_t | s_{1:t}) dx_t$$

La pdf a-priori $p(x_t | s_{1:t-1})$ in (1) è approssimata da una somma finita in quanto si utilizza un approccio a griglia che prevede una campionatura uniforme dello spazio X . Si assume che il target occupi posizioni x_t all'interno di una griglia, $k\Delta x = [k_1 k_2] Ax$, con Ax intervallo di campionamento, $k_1 = 1, \dots, K_1$ e $k_2 = 1, \dots, K_2$. [5]

Mentre le tecniche probabilistiche forniscono maggiore precisione, viene introdotto un compromesso tra precisione e tempo di calcolo. Approfondimenti teorici sulla densità spaziale di fingerprints necessaria e sul numero di campioni necessario, durante la costruzione della radio map, per differenziare tra le distribuzioni di segnale e per fornire stime di localizzazione precise sono forniti in [16]. Per esempio, il numero di campioni che vengono utilizzati variano da 20 a 60 in [17] dove la distribuzione di probabilità è modellata come log normale. In [18], dove la probabilità di distribuzione del segnale viene modellata in funzione della distanza dall'AP, 200 campioni sono stati misurati in ogni posizione. Ovviamente, la precisione della posizione calcolata cresce con il numero di campioni.

I metodi deterministici memorizzano generalmente solo il valore medio di RSSI e non sfruttano completamente le informazioni sulle fluttuazioni di RSSI nell'ambiente. La distribuzione del RSSI non è sempre Gaussiana e quindi l'utilizzo di media e varianza di una

distribuzione multimodale può ignorare informazioni importanti che sono utili per discriminare tra differenti posizioni.

Per quanto riguarda la tecnologia WiFi, diversi gruppi di ricerca hanno già cercato di sfruttare le RSSI fingerprints per la localizzazione:

- Radar [12]: rappresenta il primo sistema di fingerprinting che localizza i dispositivi portatili con precisioni di 2-3 metri.
- Horus [20]: in base al sistema radar, migliora le prestazioni avvalendosi di un'analisi probabilistica.
- Compass [21]: applica metodi probabilistici, utilizza anche l'orientamento, per migliorare la precisione, con errori sotto 1.65 metri.
- Ekahau [22]: ottiene precisioni di 1-3 metri in condizioni normali (usa anche RFID).

4 Sviluppo di metodologia fingerprinting client side

4.1 Pianificazione e infrastruttura di localizzazione client side

4.1.1 Pianificazione dati vs localizzazione

Le esigenze di una pianificazione dati e localizzazione sono molto diverse, in ogni caso appare l'evidenza di trovare dei compromessi che rendano possibile l'utilizzo di una rete dati contestualmente ad una di localizzazione.

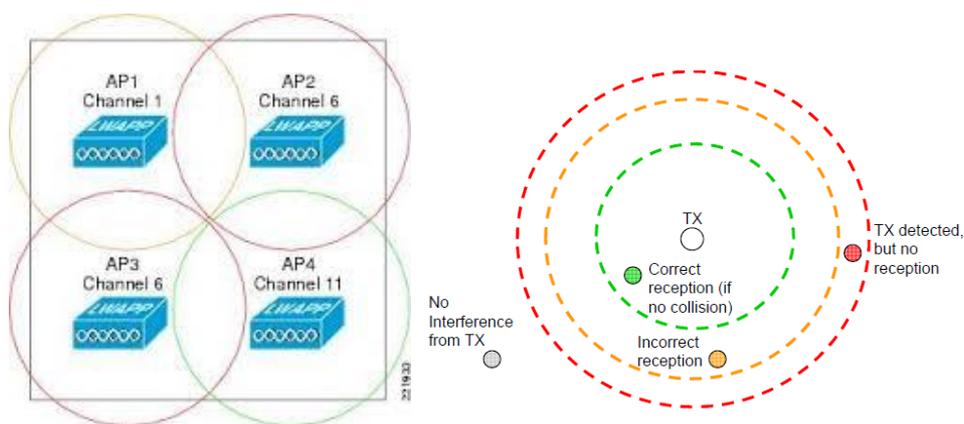
Planning (Pianificazione rete dati)

- consiste nell'ottimizzare la copertura del segnale all'interno dell'edificio offrendo garanzie in termini di SRN ricevuto

Inserimento di più AP per migliorare la copertura

- Frequency planning per evitare interferenze tra AP vicini

Porre gli AP su canali non adiacenti, in modo da evitare interferenze



Frequency planning e range di trasmissione wifi

Una buona pianificazione dati aumenta il throughput (indice dell'effettivo utilizzo della capacità del link)

Planning (Pianificazione rete localizzazione)

La pianificazione implica in fase iniziale:

- conoscenza della la topologia dell'edificio
- conoscenza della la topologia della rete
- analisi del sito valutando livelli di copertura AP, canali , ecc...

per ottenere una buona pianificazione necessario:

- garantire la copertura del segnale che deve mantenersi sopra una determinata soglia (RSSI CUTOFF)
- disposizione topologica deve seguire logiche ben precise (ad esempio la copertura con almeno 4 AP in ogni punto, overlap delle celle
- allo stesso momento bisogna evitare interferenze con nuovi AP

4.1.2 Modelli di pianificazione CISCO (regole di best practice)

Le regole di base che possono essere osservate al fine di pianificare un infrastruttura di localizzazione sono le seguenti:

RSSI CUTOFF

Aspetti come la definizione di un valore di RSSI di soglia possono essere giustificati nei casi in cui si ha una distribuzione del campo regolare, cosa che difficilmente è possibile apprezzare in ambienti indoor o comunque strutturati dove difficilmente è possibile avere un comportamento monotono decrescente. In particolare in tali ambienti si è osservato che il valore di potenza registrato in alcuni punti più distanti dall'AP risulta maggiore di quello misurato in punti più vicini all'AP.

Questo comportamento è giustificabile dalle riflessioni multiple del segnale nell'ambiente, cioè dalle componenti di multipath in grado di generare zone dove è presente un'interferenza costruttiva e distruttiva del segnale. Altri effetti sono sicuramente legati agli aspetti di vicinanza degli ap e alla cosiddetta zona di campo vicino, alle condizioni mutevoli del campo a radiofrequenza, alle variazioni topologiche e alla presenza fisica di ostacoli.

Tale definizione di tale parametro può risultare utile per verificare la prossimità di un client nella zona di un AP, ma allo stesso tempo potrebbe compromettere la localizzazione in quanto in presenza di una distribuzione del campo non regolare porterebbe al taglio di componenti significative nel metodo del fingerprinting.

DISTANZA E DISTRIBUZIONE DEGLI AP

L'analisi è condotta sulla valutazione della copertura iniziale di campo con gli AP esistenti, e intervenendo con la disposizione di ulteriori AP nelle zone meno coperte e dove in alcuni punti non si ricevono un certo numero di ap.

La disposizione è legata al fatto che i canali dove sono disposti gli AP devono essere disposti su quelli non adiacenti in modo da non pregiudicare l'aspetto di rete dati dell'infrastruttura WLAN.

Tipicamente si è osservato che una distribuzione perimetrale degli AP dà una copertura nelle zone più limitrofe ossia i perimetri degli edifici da coprire, consentendo di ottenere punti dove è possibile ricevere un certo numero di ap.

OVERLAP DEGLI AP

Per l'applicazione di metodi di localizzazione come quello del fingerprinting è necessario che in diversi punti si possa ricevere il segnale da un certo numero di AP con un certo livello di segnale che faccia da discriminante per il fingerprint in questione all'atto della localizzazione; per cui è necessaria la presenza di un certo numero di ap con il quale gli algoritmi di localizzazione possono effettuare il confronto e decidere quale è il pattern più simile.

L'overlap degli ap deve essere accompagnato da uno studio volto a minimizzare l'interferenza co-canale.

Ovviamente non esistono regole che consentano di generalizzare il numero di AP necessari per la localizzazione, questo aspetto è puramente empirico e deriva da uno studio di fattibilità e da misure sul sito, oltre ad un'accurata indagine topologica dell'ambiente dove si vuole effettuare la localizzazione.

Questo perché ogni ambiente è strutturalmente differente, ragion per cui le condizioni di propagazione dei segnali tendono a variare profondamente.

5 Piattaforma software di localizzazione

Nell'ambito del progetto «GEOPOS» sono state effettuate delle osservazioni sperimentali utilizzando un architettura RSS (Received Signal Strength) decentralizzata, ovvero si è utilizzato un approccio di tipo client-side, in cui la logica computazionale è stata demandata ai dispositivi di localizzazione.

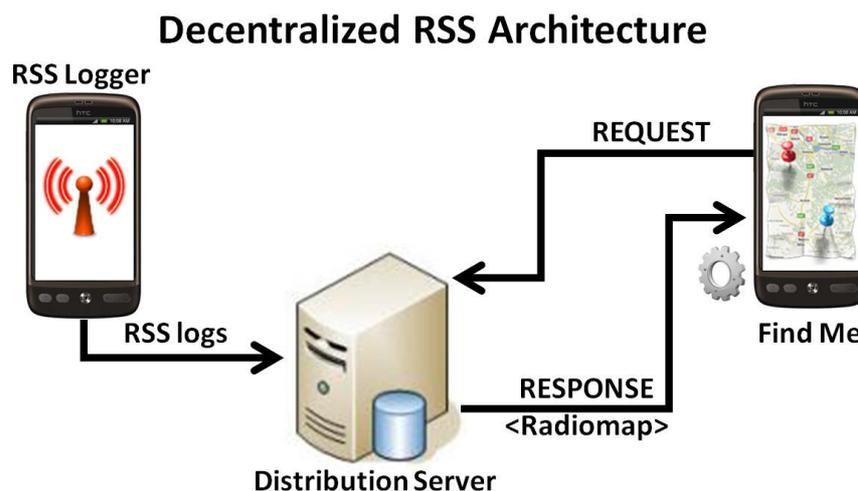


Figura 5-1

In un approccio di tal genere (Fig. 1.1-1) il dispositivo client viene utilizzato per registrare in un certo numero di punti, e per un certo numero di campioni, i livelli di RSSI (Received Signal Strength Indicator) provenienti da Access Point opportunamente posizionati, utilizzando i criteri illustrati nella fase di planning. I segnali registrati vengono inviati ad un server di distribuzione che costruisce una radiomappa, per poi inviarla, su richiesta, all'applicativo di localizzazione. L'applicativo di localizzazione presente sul dispositivo, a partire dai livelli di RSSI rilevati, e sulla base della radiomappa ricevuta, utilizzerà uno degli algoritmi di fingerprinting presenti per calcolare la posizione del dispositivo all'interno della mappa configurata.

Una soluzione di questo tipo consente di contenere i problemi legati alla privacy, presenti invece nelle architetture network-side, pur mantenendo un limitato scambio di dati con il server di distribuzione. Un progetto opensource[23] con le caratteristiche descritte è stato sviluppato dall'Università di Cipro, consentendo di avere una base di partenza piuttosto completa da cui poter sperimentare e verificare nuovi algoritmi ed avere misure di riferimento con cui poter confrontare i risultati attesi.

In aggiunta all'architettura già sviluppata è stato aggiunto un DB su cui immagazzinare le rilevazioni, i risultati, le mappe e le radiomappe, per avere a disposizione un ambiente da cui poter estrarre e filtrare rapidamente porzioni di rilevazioni ed analizzare la distribuzione e la variabilità dei valori di RSSI.

5.1 RSS Logger

Nell'ambito dell'architettura descritta, il logger è l'applicazione client-side che presiede alla registrazione dei valori di RSSI in ogni punto indicato. I punti su cui vengono effettuate le registrazioni divengono i punti di riferimento per la costruzione della radiomappa.

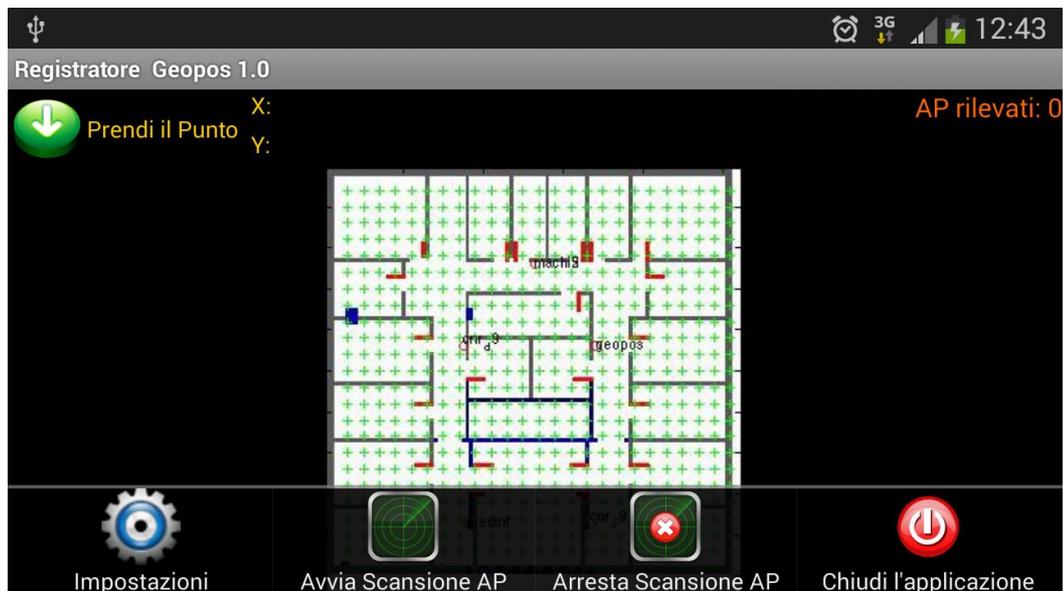


Figura 5-2

L'applicazione è basata sulle API 8 di Android, le cui librerie consentono la scansione dei canali WiFi per la registrazione dei valori di RSS provenienti dagli AP a portata di rilevazione. Ad intervalli regolari preselezionabili, vengono effettuate delle scansioni su tutti gli AP rilevabili registrandone il Timestamp, le coordinate della posizione indicate dall'utente, bidimensionali, il MAC ed il livello di RSS. Tali valori vengono registrati su un file testuale, in locale, per poi essere trasferiti, in una fase successiva, al server di distribuzione, che in questo caso assume la funzione di concentratore. In questa fase risulta fondamentale avere a disposizione una mappa fisica correttamente in scala, con delle dimensioni conosciute e dei punti di riferimento che permettano di valutare in maniera quanto più precisa ed oggettiva possibile la posizione del dispositivo rispetto alla mappa. L'errore eventualmente commesso in questa fase, si ripercuoterà inevitabilmente nella precisione della stima effettuata dal localizzatore, dal momento che questo prenderà come riferimento dei valori medi ricavati a partire da queste rilevazioni. Come già accennato l'utente, avendo a disposizione una

connessione, può trasferire le rilevazioni prese al server di distribuzione, contribuendo in crowdsourcing alla creazione di una radiomappa. La radiomappa verrà infatti creata dal server a partire da tutti i file ricevuti dai dispositivi mobili.

Nell'applicativo originario non è previsto alcun processo di trasmissione automatica dei dati da e verso il server di distribuzione, tutto avviene mediante l'intervento dell'utente. La naturale evoluzione del sistema, avendo già approntato una base dati capace di ospitare e discriminare dispositivi, mappe, AP, radiomappe e rilevazioni, è quella di automatizzare il processo di trasferimento dei dati verso il server, non appena risulti accessibile, ovvero quando esista una connessione dati ed il server risulti correttamente in ascolto.

5.2 Localizzatore

Il localizzatore è un applicativo client, sempre basato sulle API 8 di Android, che permette la localizzazione sulla mappa caricata in fase di configurazione.

Il funzionamento è basato sulla radiomappa che viene scaricata dal server, assieme ad un file di parametri. Una volta scaricati tali file l'applicativo, mediante gli algoritmi di fingerprinting implementati, ed ai valori di RSS rilevati dagli AP circostanti, permette di stimare la posizione corrente in maniera autonoma e non dipendente dal server, quindi il server diviene un soggetto passivo del processo di localizzazione, all'oscuro della posizione attuale del dispositivo. La sua funzione risulta quella di creare i file di radiomappa e dei parametri, a partire dalle rilevazioni registrate dai loggers.

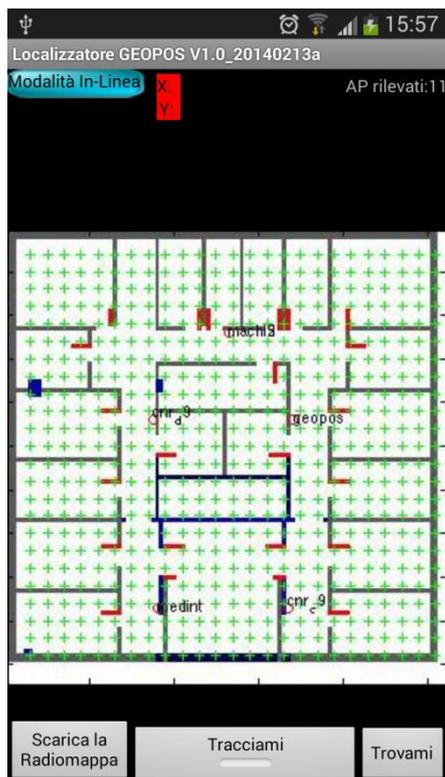


Figura 5-3

Altra funzionalità prevista dall'applicativo è quella di verifica dello scostamento dei valori stimati a partire dal file di radiomappa, da quelli effettivamente rilevati in punti di test, non coincidenti con quelli di rilevazione. In questo caso si deve disporre di un file di radiomappa e di un file di radiomappa di test. Come avviene per il logger anche nel localizzatore viene avviata una scansione periodica (tracking) o una tantum (find me) che serve a rilevare i valori di RSS degli AP presenti nell'ambiente, per poi poter confrontare la distanza euclidea tra tali valori e la costellazione dei valori presenti nella radiomappa, stimando con uno degli algoritmi implementati, tra K Nearest Neighbor (KNN), Weighted Nearest Neighbor (WKNN), Probabilistic Maximum A Posteriori (MAP), Probabilistic Minimum Mean Square Error (MMSE), K-Means Clustering (KM), K-Means with AP Filtering (KMF), la posizione attuale.

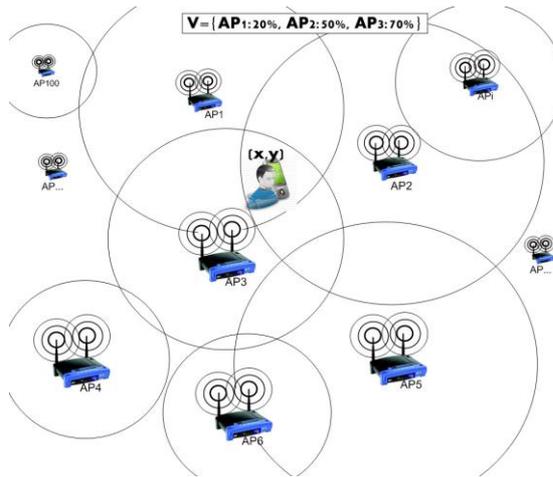


Figura 5-4

5.3 Algoritmi di localizzazione

Algoritmi deterministici

Nella fase offline per costruire la radio map, vengono memorizzati i pattern di potenza ricevuta da ciascun AP, per dei punti di riferimento per i quali sono note le coordinate spaziali. Tale mappa consiste in un numero di entry pari a quello dei punti di riferimento considerati, del tipo:

$F_i = (x, y, RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_N)$ con $i=1, \dots, L$ il numero di locazioni di riferimento, N il numero degli AP e x e y le coordinate spaziali del punto.

k-NearestNeighbours (kNN)

La posizione stimata viene calcolata come media delle coordinate dei k punti di riferimento più vicini nello spazio delle distanze euclidee tra i fingerprint. L'algoritmo stima la posizione in funzione del fingerprint dei punti misurati in fase offline e li confronta con i valori RSS di un punto misurato online.

Weighted k-Nearest Neighbours

La posizione stimata viene calcolata come media pesata delle coordinate dei k punti di riferimento più vicini nello spazio delle distanze euclidee tra i fingerprint.

$$q = \sum_{j=1}^k \frac{w_j q_{i_t}}{\sum_{l=1}^k w_l}, \text{ dove i pesi sono } w_j = d(r_{i_t}, r)^{-1}.$$

Clustering gerarchico con k-Means (k=2)

I pattern di riferimento vengono divisi in due cluster con l'algoritmo k-Means. Il cluster contenente il pattern di riferimento più vicino al pattern di test viene iterativamente suddiviso in altri due cluster. La cardinalità del cluster finale viene calcolata dinamicamente, minimizzando l'errore di posizionamento di alcuni punti di test.

L'algoritmo k-Means di clustering con k il numero dei cluster che si vogliono trovare, funziona scegliendo inizialmente k punti di riferimento a caso come centri dei cluster. I punti di riferimento sono assegnati al cluster avente il centro più vicino. Si ricalcola il centroide (la media) dei punti in ogni cluster: questo rappresenta il nuovo centro del cluster. Si riassegnano i punti ai nuovi cluster e si ricalcolano i centroidi finché tutte le istanze non sono assegnate allo stesso cluster in due iterazioni successive. Il k-Means cerca di minimizzare la funzione obiettivo

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i \in \{j\}} d^2(x_i, c_j)$$

Il risultato del clustering non è stabile, in quanto i centroidi iniziali sono scelti random. Per stabilizzare il risultato del clustering, i centroidi iniziali vengono scelti come i punti di riferimento con i fingerprint più distanti uno dall'altro.

La posizione finale viene calcolata come la media (pesata) delle coordinate dei punti di riferimento che si trovano nel cluster finale.

5.4 Server di distribuzione

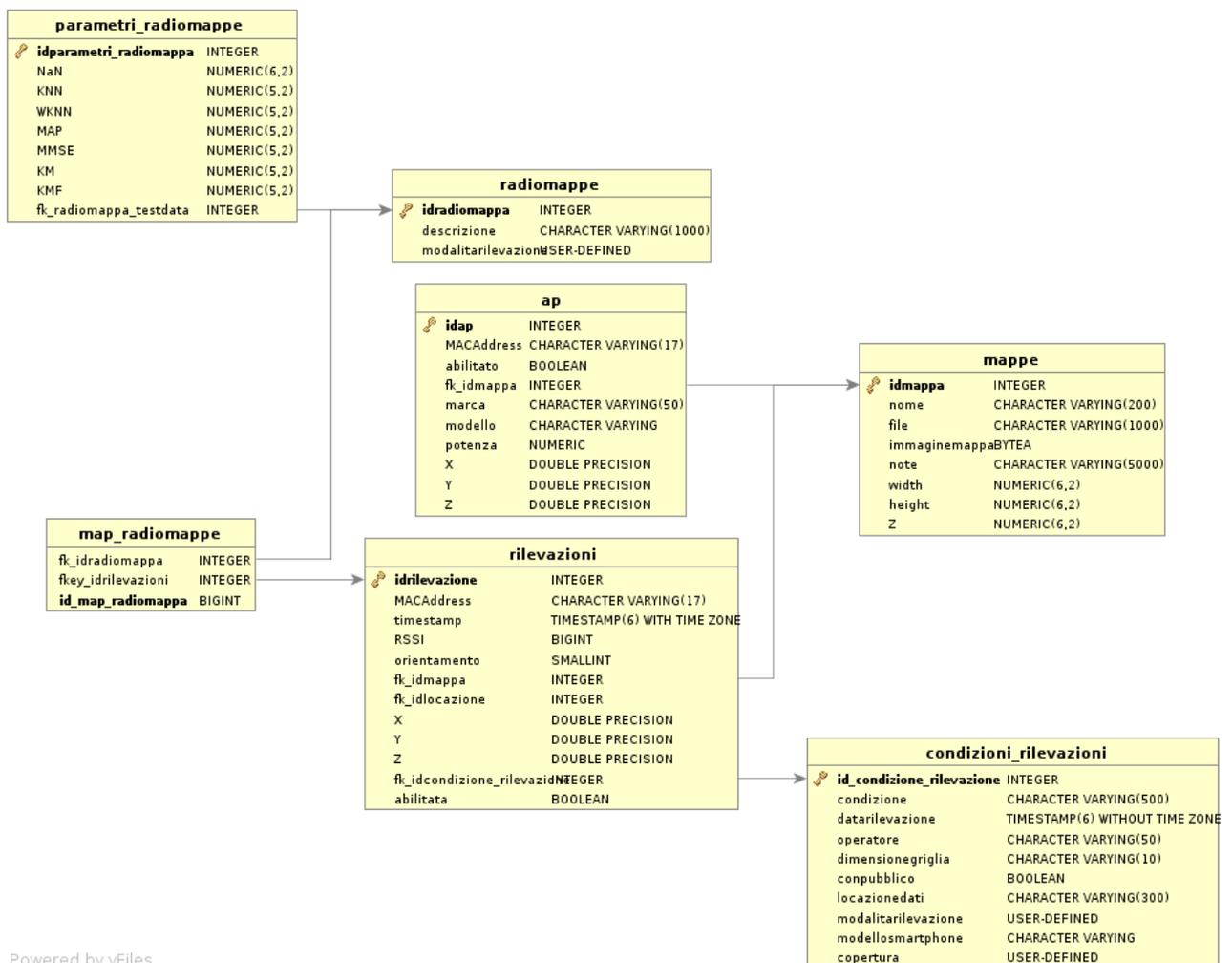
Come raccordo tra l'attività di registrazione delle rilevazioni, siano esse di riferimento o di test, effettuate dal logger e l'attività di stima della posizione del localizzatore, vi è il server di distribuzione.

Tale server, ospitato su un sistema raggiungibile dagli applicativi client, è realizzato in Java, quindi è possibile mandarlo in esecuzione su un qualsiasi S.O. in cui sia installata una JVM. Le funzioni demandate a tale sistema sono di creazione dei file di radiomappa, ottenuti a partire dai tracciati prodotti dai loggers, mediando i valori di RSS per ciascun AP e per ciascun punto, quindi riunendo tutti i file di rilevazione ricevuti e raggruppando per AP e per punto i valori rilevati. Sulla base di una radiomappa ottenuta a partire da punti di test, non coincidenti con i punti di rilevazione, l'applicativo determina pure la serie di parametri che ottimizzano i diversi algoritmi di localizzazione, effettuando per ciascun algoritmo la simulazione di posizionamento con diversi valori di parametro, e ritenendo per ciascuno quello che minimizza l'errore medio. Entrambi i file creati, ovvero la radiomappa e il file dei parametri, vengono scaricati on-demand dagli applicativi client di localizzazione, e costituiscono gli elementi necessari ai client per effettuare le necessarie elaborazioni per la stima della posizione.

Il server resta anche in ascolto per ricevere i file di rilevazione inviati dai loggers, necessari per creare le radiomappe. Questo processo consente di contenere l'utilizzo della banda nonché le prerogative di privacy caratteristiche dell'approccio di localizzazione client-side. D'altro canto una maggiore interazione tra client e server, e soprattutto un maggiore automatismo nelle interazioni, consentirebbe una maggiore flessibilità e capacità di analisi dei risultati ottenuti, soprattutto in fase di sperimentazione e di elaborazione delle possibilità di miglioramento degli algoritmi. Anche in questo caso risulta piuttosto naturale l'implementazione di uno step di sviluppo, che consenta tali interazioni. Il processo proposto richiede l'adeguamento del server alla comunicazione mediante websocket, garantendo una comunicazione bidirezionale tra client e server e minori problematiche derivanti dai vincoli imposti dalle misure di sicurezza perimetrali presenti sia su scala di rete locale, che in ambito Internet, dal momento che avverrebbero su porta standard per le comunicazioni web, ovvero la 80, e quindi generalmente aperta e disponibile in tutti gli ambienti. A questo scopo è stato anche predisposta una struttura dati opportuna su un DB Server, che dovrà essere destinata ad ospitare le rilevazioni raccolte, le mappe, le radiomappe, gli AP nonché le condizioni di rilevazione, in sostituzione dei file attualmente utilizzati.

5.5 DB Server

La presenza di un DB server si rende utile per le attività di elaborazione e verifica dei risultati attesi. La possibilità di poter immagazzinare i dati in un formato strutturato ed interrogabile consente di ottenere rapidamente statistiche e confronti tra valori omogenei, scegliendo i livelli di aggregazione ritenuti più opportuni per le analisi richieste. A tal fine è stata progettata e realizzata una base dati che consenta di immagazzinare tutte le informazioni ritenute utili agli scopi esposti. Lo schema utilizzato è quello di figura 1.5-1



Powered by yFiles

Figura 5-5

Secondo tale schema ogni rilevazione è correlata ad una mappa fisica, che viene memorizzata all'interno del DB come immagine e con i relativi attributi, quali nome identificativo, dimensioni del luogo, ed eventuali note. E' stata anche prevista la predisposizione per la terza dimensione Z, che negli sviluppi futuri dovrebbe indicare l'altezza del piano dal livello del mare.

Inoltre ad ogni mappa vengono associati gli AP rilevati, descritti in termini di MAC Address, marca, modello, potenza e posizionamento.

Per quanto riguarda le rilevazioni ad esse vengono anche correlate le informazioni relative a quelle che risultano condizioni di rilevazione, ovvero l'operatore che ha preso la misura, la data in cui è stata presa la misura, il modello dello smartphone, e quanto altro potrebbe essere utile ad indagare su discostamenti nei valori attesi delle stime, che possano derivare da differenti condizioni nell'acquisizione delle rilevazioni.

Infine le tabelle radiomappe e parametri_radiomappe sono pensate per sostituire gli analoghi files attualmente utilizzati, dal momento che consentono di raggruppare una serie di rilevazioni per ottenere tramite delle viste, le radiomappe. E' peraltro possibile così filtrare degli AP o escludere facilmente degli overlay dalle rilevazioni o anche ricavare medie e varianze nei valori di RSS risultanti dalle rilevazioni. A tale proposito risulta interessante l'analisi della varianza media dei valori di RSSI ascrivibile a ciascun AP. Una siffatta analisi è stata condotta per le rilevazioni effettuate presso il Polo dell'Università di Palermo in occasione della manifestazione Palermo Scienze, e se ne riportano in figura 1.5-2 i risultati. L'estrazione dei valori è stata condotta ottenendo prima le varianze nei valori di RSS per ciascun punto e per ciascun AP, ovvero aggregandoli su base temporale, e poi prendendo per ciascun AP il valor medio delle varianze riscontrate. si è ricavato così un indice che identifica tra tutti gli AP quelli con un maggior grado di variabilità nei valori riscontrati, che possono essere quindi oggetti di ulteriori indagini, in quanto possibile causa di elevati discostamenti tra stime effettuate in momenti differenti. A questo proposito potrebbe risultare utile filtrare tali AP in sede di creazione della radiomappa, una volta individuato un criterio sufficientemente robusto di discriminazione.

In conclusione è stata sviluppata e popolata una base dati strutturata, utile ai fini di indagine nelle osservazioni sperimentali condotte nelle campagne di misura, che si configura anche come base adeguata per la predisposizione di uno strato di persistenza dei dati asservito ad un architettura evoluta a partire da quella attualmente adottata, in cui le comunicazioni tra client e server vengano automatizzate e rese più robuste ed efficienti, mediante l'adozione di uno scambio dati su websocket. Questa architettura permetterebbe peraltro una flessibilità tale da poter integrare criteri di elaborazione network-side aided, o in cui si possa prospettare un certo livello di collaboratività tra diversi localizzatori, il tutto per migliorare l'accuratezza e la precisione delle stime.

A titolo esemplificativo si riporta una delle estrazioni ottenibili a partire da tale basi di dati, riguardante alcuni dei punti di rilevazione presi come riferimento, registrati al Polo Didattico dell'Università degli Studi di Palermo. Nello specifico si è potuto analizzare la deviazione standard ed il valore medio di RSSI per punto e per AP, verificando il numero effettivo di campioni rilevati e calcolando le medie ottenute integrando le rilevazioni mancanti con un valore fittizio di fondoscala pari a -110:

Numero campioni	X	Y	MACAddress	Media integrata	Media pura	Deviazione standard
3	14.95	25.72	00:24:a8:a9:19:a1	-95.20	-85.33	12.12
5	14.95	25.72	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-83.60	-83.60	0.49
5	14.95	25.72	00:03:c9:ad:d0:ba	-61.00	-61.00	1.41
4	14.95	25.72	d6:ca:6d:9a:ad:31	-95.80	-92.25	7.19
5	14.95	25.72	00:03:c9:df:94:6a	-44.00	-44.00	2.10
3	14.95	25.72	00:24:a8:a9:09:10	-90.80	-78.00	15.84
5	14.95	25.72	00:03:c9:d3:4a:c1	-80.00	-80.00	5.14
1	14.95	25.72	00:24:a8:a9:19:b0	-106.40	-92.00	7.20
5	14.95	25.72	00:24:a8:a9:09:01	-59.80	-59.80	4.71
5	14.95	25.72	00:03:c9:ad:07:ce	-83.00	-83.00	2.19
5	14.95	25.72	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-62.60	-62.60	3.32
5	14.95	25.72	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-59.60	-59.60	1.02
5	14.95	25.72	00:03:c9:ac:8a:f2	-53.20	-53.20	1.47
5	17.95	31.59	00:03:c9:ad:d0:ba	-61.60	-61.60	3.20
2	17.95	31.59	00:24:a8:a9:21:41	-103.20	-93.00	8.42
4	17.95	31.59	d6:ca:6d:9a:ad:31	-94.40	-90.50	8.16
2	17.95	31.59	00:24:a8:a9:19:b0	-102.00	-90.00	9.88
2	17.95	31.59	00:03:c9:d3:4a:c1	-102.60	-91.50	9.71
5	17.95	31.59	00:03:c9:df:94:6a	-49.20	-49.20	2.99
4	17.95	31.59	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-92.40	-88.00	9.39
4	17.95	31.59	00:24:a8:a9:09:10	-80.60	-73.25	14.72
5	17.95	31.59	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-71.00	-71.00	0.89
5	17.95	31.59	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-74.80	-74.80	0.75

4	17.95	31.59	00:03:c9:ad:07:ce	-91.20	-86.50	9.91
3	17.95	31.59	00:1e:4c:21:03:ab	-97.60	-89.33	10.23
5	17.95	31.59	00:24:a8:a9:09:01	-56.60	-56.60	2.87
3	17.95	31.59	00:24:a8:a9:19:a1	-96.20	-87.00	11.50
2	17.95	31.59	00:24:a8:a9:21:50	-103.40	-93.50	8.09
5	17.95	31.59	00:03:c9:ac:8a:f2	-60.20	-60.20	1.60
2	18.45	22.79	00:24:a8:a9:21:41	-103.40	-93.50	8.14
3	18.45	22.79	00:24:a8:a9:19:a1	-98.60	-91.00	9.33
5	18.45	22.79	00:03:c9:ac:8a:f2	-65.20	-65.20	3.06
4	18.45	22.79	00:24:a8:a9:09:01	-69.80	-59.75	20.11
5	18.45	22.79	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-86.60	-86.60	1.85
5	18.45	22.79	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-67.60	-67.60	2.24
4	18.45	22.79	00:24:a8:a9:09:10	-78.20	-70.25	15.92
1	18.45	22.79	00:03:c9:ad:07:ce	-103.80	-79.00	12.40
5	18.45	22.79	00:03:c9:df:94:6a	-39.80	-39.80	0.75
2	18.45	22.79	d6:ca:6d:9a:ad:31	-102.60	-91.50	9.07
4	18.45	22.79	00:03:c9:d3:4a:c1	-86.60	-80.75	11.71
5	18.45	22.79	00:03:c9:ad:d0:ba	-73.40	-73.40	1.96
5	18.45	22.79	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-72.00	-72.00	0.63
5	20.83	22.71	00:03:c9:ad:07:ce	-83.80	-83.80	2.23
5	20.83	22.71	00:24:a8:a9:09:01	-64.40	-64.40	4.22
5	20.83	22.71	00:24:a8:a9:09:10	-79.40	-79.40	2.50
5	20.83	22.71	00:03:c9:ac:8a:f2	-63.80	-63.80	2.56
4	20.83	22.71	00:03:c9:d3:4a:c1	-88.80	-83.50	10.76
5	20.83	22.71	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-62.60	-62.60	5.08
2	20.83	22.71	00:24:a8:a9:19:a1	-102.60	-91.50	9.07
5	20.83	22.71	00:03:c9:df:94:6a	-40.80	-40.80	2.99
5	20.83	22.71	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-86.20	-86.20	0.75
5	20.83	22.71	00:03:c9:ad:d0:ba	-69.00	-69.00	3.69
5	20.83	22.71	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-68.40	-68.40	2.50
5	22.24	27.14	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-61.40	-61.40	1.50
1	22.24	27.14	00:24:a8:a9:21:41	-105.40	-87.00	9.20
5	22.24	27.14	00:24:a8:a9:09:01	-62.40	-62.40	1.96
3	22.24	27.14	00:24:a8:a9:19:a1	-95.80	-86.33	11.77
5	22.24	27.14	00:03:c9:d3:4a:c1	-80.20	-80.20	1.60
2	22.24	27.14	00:24:a8:a9:19:b0	-103.00	-92.50	8.58
5	22.24	27.14	d6:ca:6d:9a:ad:31	-85.40	-85.40	1.02
5	22.24	27.14	00:03:c9:ac:8a:f2	-54.00	-54.00	1.10
5	22.24	27.14	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-87.20	-87.20	2.93
3	22.24	27.14	00:24:a8:a9:09:10	-87.60	-72.67	18.51
5	22.24	27.14	00:03:c9:df:94:6a	-55.80	-55.80	1.17
5	22.24	27.14	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-75.60	-75.60	1.62
5	22.24	27.14	00:03:c9:ad:d0:ba	-78.80	-78.80	3.54
4	22.24	27.14	00:03:c9:ad:07:ce	-82.00	-75.00	14.01
4	26.25	31.11	d6:ca:6d:9a:ad:31	-86.20	-80.25	12.02
2	26.25	31.11	00:24:a8:a9:19:b0	-102.80	-92.00	8.91
3	26.25	31.11	00:03:c9:d3:4a:c1	-93.00	-81.67	14.01
4	26.25	31.11	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-89.40	-84.25	10.33
5	26.25	31.11	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-65.20	-65.20	1.94
5	26.25	31.11	00:24:a8:a9:09:01	-54.40	-54.40	6.86

4	26.25	31.11	00:24:a8:a9:21:41	-90.20	-85.25	10.09
3	26.25	31.11	00:03:c9:ad:07:ce	-89.20	-75.33	17.00
5	26.25	31.11	00:03:c9:ac:8a:f2	-60.40	-60.40	2.06
5	26.25	31.11	00:03:c9:df:94:6a	-57.60	-57.60	1.96
5	26.25	31.11	00:03:c9:ad:d0:ba	-71.80	-71.80	0.75
5	26.25	31.11	00:1e:4c:21:03:ab	-85.80	-85.80	3.76
5	26.25	31.11	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-74.20	-74.20	2.64
1	26.25	31.11	00:24:a8:a9:19:a1	-105.40	-87.00	9.20
5	26.25	31.11	00:24:a8:a9:09:10	-68.60	-68.60	1.36
2	26.43	22.83	d6:ca:6d:9a:ad:31	-102.00	-90.00	9.88
4	26.43	22.83	00:24:a8:a9:19:a1	-91.20	-86.50	9.95
5	26.43	22.83	00:24:a8:a9:09:10	-73.60	-73.60	2.33
5	26.43	22.83	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-64.20	-64.20	2.56
5	26.43	22.83	00:24:a8:a9:09:01	-57.00	-57.00	2.83
5	26.43	22.83	00:03:c9:ad:d0:ba	-62.40	-62.40	2.24
1	26.43	22.83	00:24:a8:a9:21:41	-106.40	-92.00	7.20
4	26.43	22.83	00:03:c9:ad:07:ce	-87.80	-82.25	11.32
5	26.43	22.83	00:03:c9:ac:8a:f2	-58.80	-58.80	1.83
5	26.43	22.83	00:03:c9:df:94:6a	-60.60	-60.60	1.02
3	26.43	22.83	00:03:c9:d3:4a:c1	-91.20	-78.67	15.41
5	26.43	22.83	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-79.60	-79.60	5.00
4	26.43	22.83	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-91.00	-86.25	10.24
5	26.73	26.08	d6:ca:6d:9a:ad:5b	-61.40	-61.40	2.73
5	26.73	26.08	00:03:c9:df:94:6a	-56.20	-56.20	3.66
2	26.73	26.08	d6:ca:6d:9a:ad:31	-100.80	-87.00	11.27
5	26.73	26.08	d6:ca:6d:a8:8c:f1	-61.80	-61.80	1.83
3	26.73	26.08	00:03:c9:ad:07:ce	-94.60	-84.33	12.58
5	26.73	26.08	00:03:c9:d3:4a:c1	-81.60	-81.60	3.93
5	26.73	26.08	00:03:c9:ad:d0:ba	-72.00	-72.00	3.74
5	26.73	26.08	00:03:c9:ac:8a:f2	-62.20	-62.20	2.93
5	26.73	26.08	00:24:a8:a9:09:01	-60.00	-60.00	2.61
4	26.73	26.08	00:24:a8:a9:09:10	-81.60	-74.50	14.39
2	26.73	26.08	00:24:a8:a9:19:a1	-101.60	-89.00	10.31
5	26.73	26.08	d6:ca:6d:9a:ad:2b	-85.80	-85.80	1.83

Figura 5-6

6 Campagne di misura

6.1 Area CNR (ambiente partizionato)

Le misure condotte all'ICAR-CNR sono state orientate allo studio dei modelli di propagazione del segnale attraverso misure del campo a radiofrequenza generato da AP dislocati nell'ambiente di test.

I punti salienti di queste misure riguardano inoltre:

- Realizzazione di Mappe RSSI AP (studio del valore medio, rumore, varianza)
- Verifica delle condizioni di variabilità del segnale
- Valutazione dei parametri del modello di powerloss
- Best practices net planning

Lo studio condotto descritto nel seguito, mostra come siano scoraggianti nella localizzazione con RSS modelli di pathloss, anche definiti a zona a vantaggio di algoritmi di fingerprinting che si ritengono più efficaci per poter effettuare la localizzazione con dispositivi wifi.

6.1.1 Setup delle misure

Le misure sono state condotte al 2° Piano dell'ICAR CNR in 6 stanze più corridoi. Tale ambiente strutturalmente partizionato ha una forma quadrata con lato pari a 26 metri.

Sono stati utilizzati per le misure 5 AP di cui 2 fissi. Le porte sono mantenute aperte nelle zone interessate per la durata dell'intero set di misure.

Le misure di potenza sono state condotte con una griglia di 1 metro nei punti indicati in figura, attraverso l'utilizzo di portatili; in particolare ogni punto sono state registrate le scansioni per la durata temporale di un minuto effettuate mediante software NetSpot.

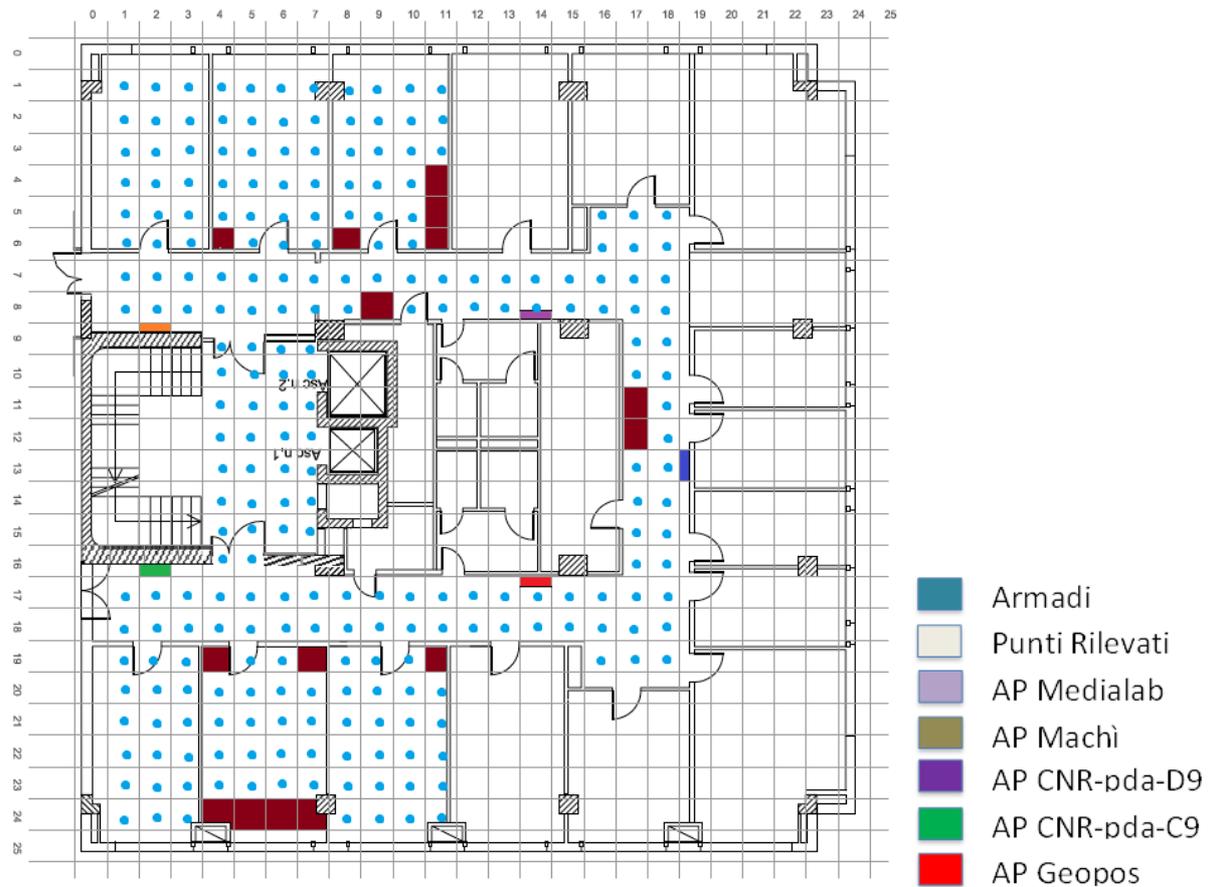
I portatili utilizzati sono un macbook pro air 13 e un macbook pro 15 (scheda wifi 802.11a/b/g/n BCM 43XX 1.0) che includono un tool disponibile per Mac OS X che consente il wireless site survey, Wi-Fi analysis e troubleshooting.

I file delle scansioni effettuate contenenti il valore di potenza degli ap ricevuti sono successivamente elaborati con una catena di processamento python e matlab.

Di seguito viene mostrata in figura la disposizione degli ap e i punti su cui sono effettuate le misure.

AP utilizzati nel setup:

Geopos:	linksys wrt54gl
cnrpda d9-c9:	smc2555w-ag2
machi 2-5	Apple Time Capsule A1409
medialab	netgear wg602v4



Mappa dei punti rilevati e distribuzione degli AP



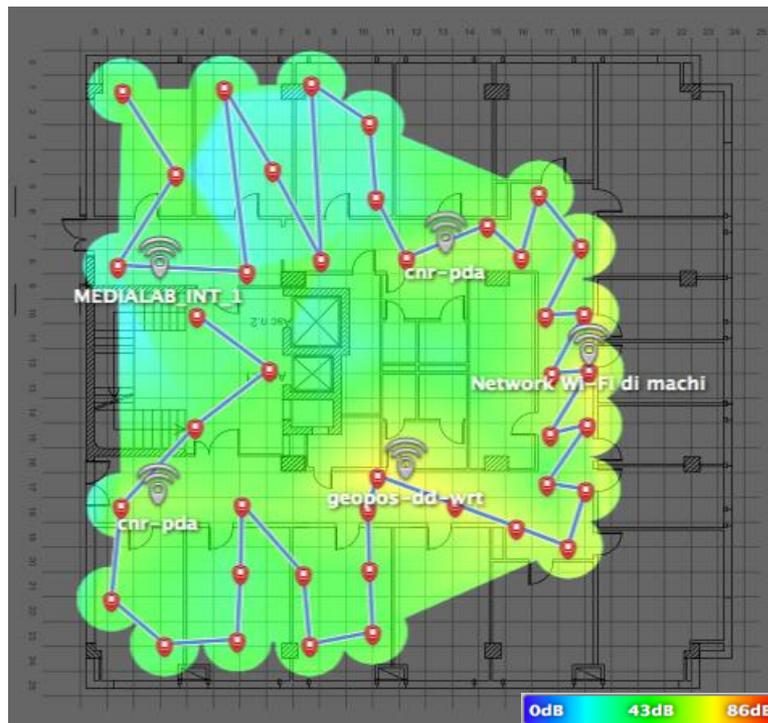
realizzazione della griglia ad 1 metro nell'ambiente di test

6.1.2 Analisi delle misure

Mediante l'utilizzo del netspot utilizzato come WiFi network mapper è stata analizzata la distribuzione del campo nell'area di interesse.

In questo modo è possibile avere una copertura di insieme dei valori medi del livello di potenza del segnale emesso da ogni AP. Inoltre l'utility consente di inserire una soglia ed osservare come varia il campo all'interno dell'ambiente.

L'utilità del netspot ha consentito in prima istanza una verifica della buona copertura degli ap nella zona di interesse.



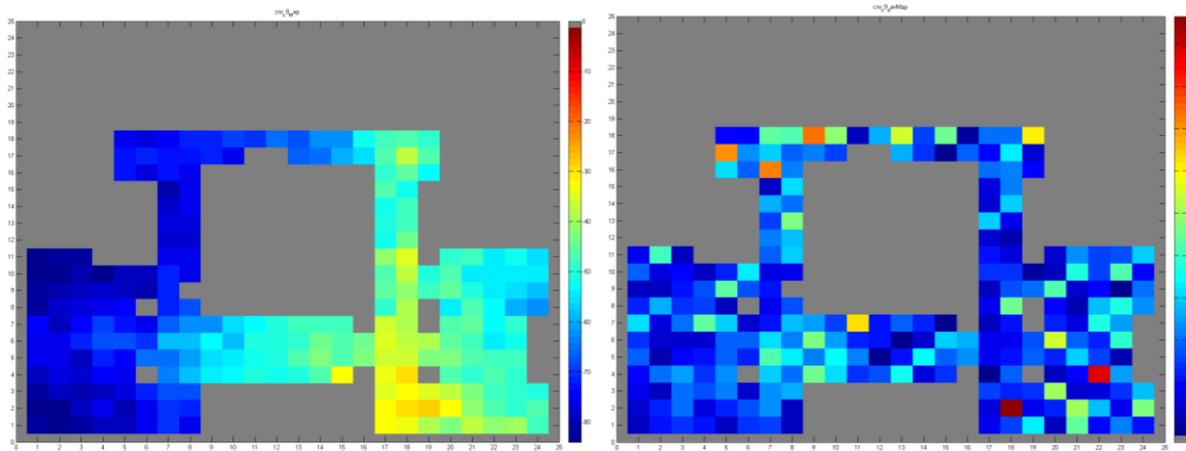
Distribuzione del Campo realizzata con Netspot per network planning

Dal set di misure condotto sono state derivate delle mappe di copertura di campo per ogni AP, in particolare sono state osservate le distribuzioni spaziali dei valori medi e delle varianze dei segnali.

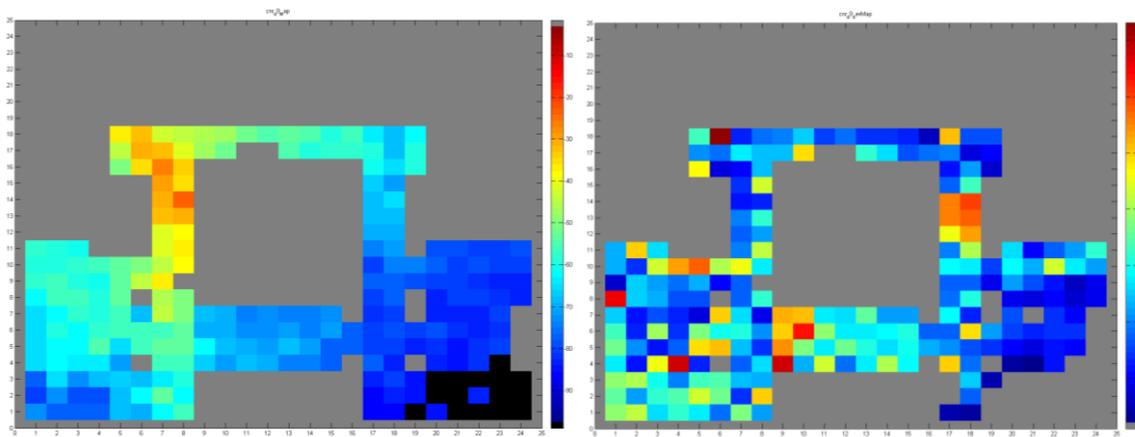
È osservabile dalle mappe dei valori medi come la distribuzione del campo non abbia una regolarità, e come variabili in alcuni casi siano tra punti anche vicini i livelli di deviazione standard.

È interessante osservare la copertura di campo dell'ap machi2 e machi5 operante rispettivamente a 2.4 e 5 Ghz; da un confronto è possibile osservare come il campo a 5 Ghz subisca un'attenuazione maggiore rispetto a quello a 2.4 Ghz e in cui risultano evidenti delle zone dove non è ricevuto il segnale.

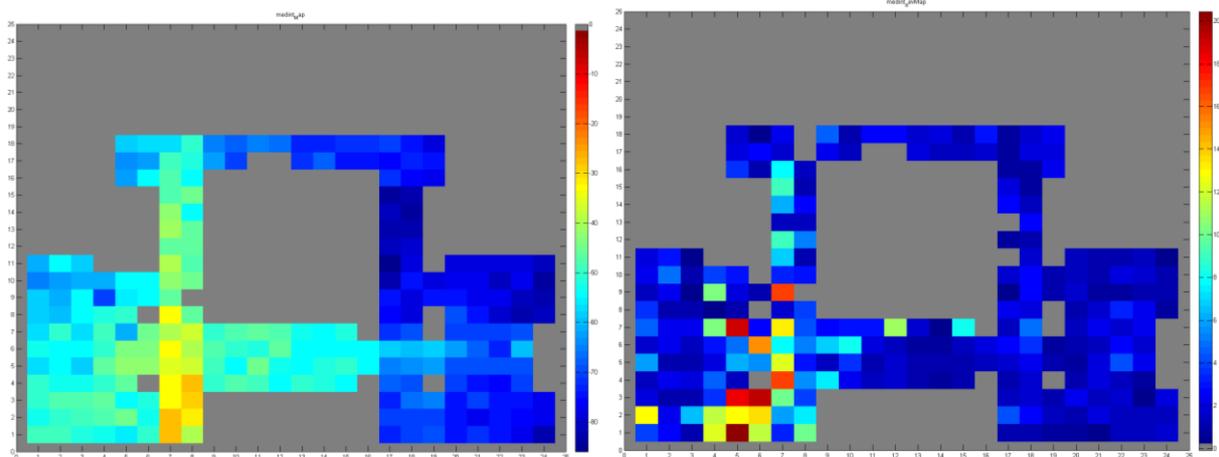
Viene anche messo in evidenza il comportamento del segnale nella zona dei corridoi che agiscono come una guida d'onda e dove l'abbattimento del segnale risulta essere minore con la distanza.



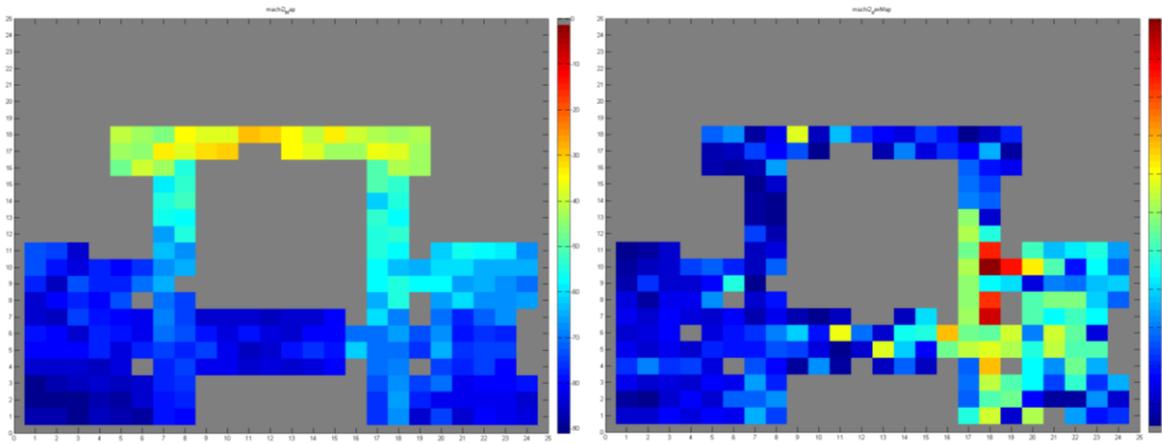
Media e deviazione standard del segnale AP c9



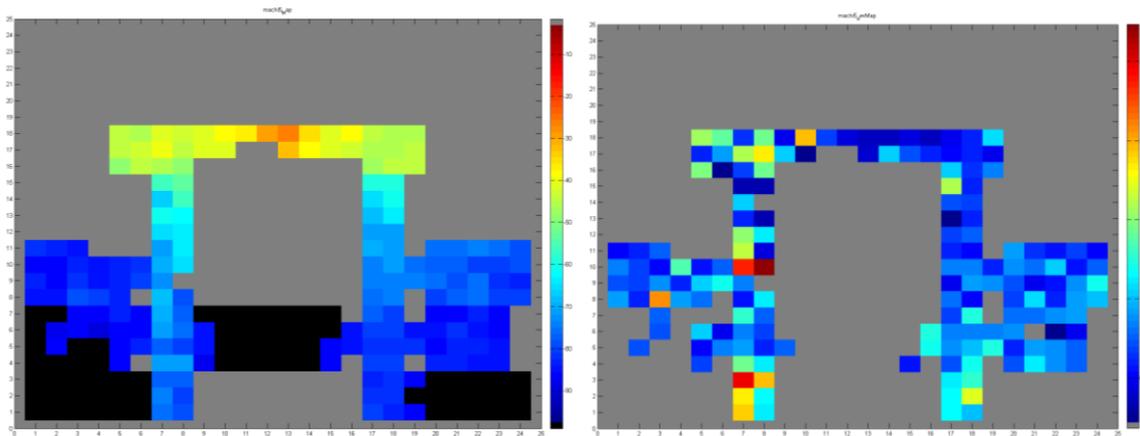
Media e deviazione standard del segnale AP d9



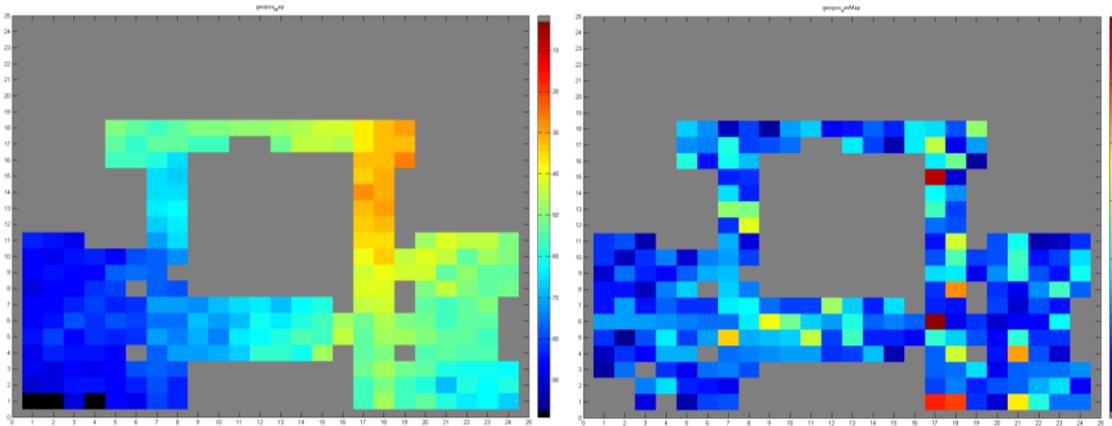
Media e deviazione standard del segnale AP medialab



Media e deviazione standard del segnale AP machi2



Media e deviazione standard del segnale AP machi5



Media e deviazione standard del segnale AP geopos

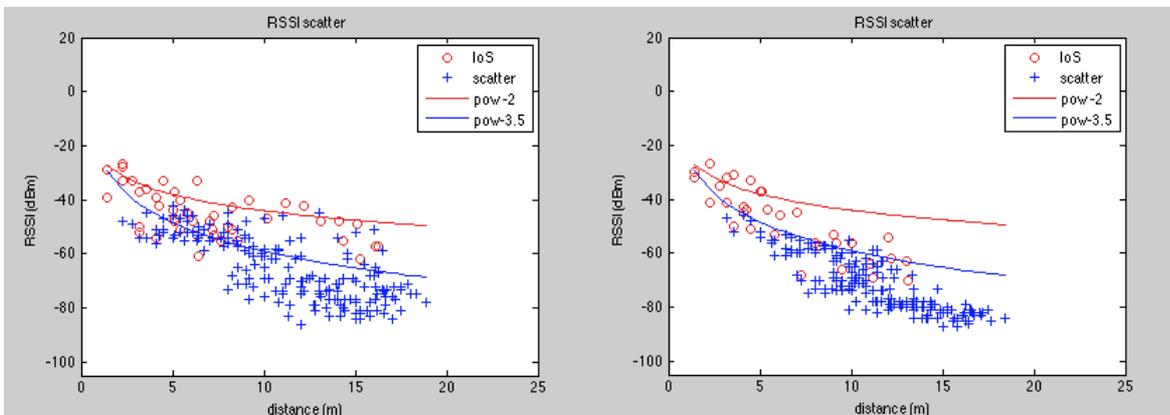
Modellazione del Path loss con esponente diverso per zona

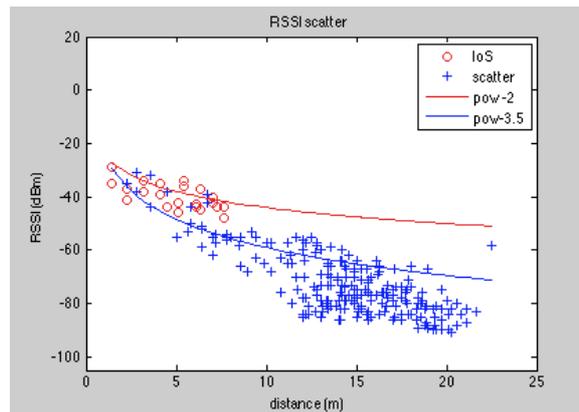
È stato valutato il Power loss in funzione della distanza per 3 AP in loS e il relativo scatter in zone non in vista dell'AP come si può osservare nelle figure seguenti e dove si sono anche indicate le curve di decadimento con esponente pari a 2 e 3.5.

Si vede che anche se i punti in LoS e in area diffusione si raggruppano in cluster, la rappresentazione con un esponente per zona non è adeguato in quanto si ha un'alta dispersione e variabilità fra il campo di un AP e l'altro.

Ciò dimostra che il modello di Pathloss con esponente diverso per zona è poco applicabile in situazione di alta strutturazione dell'ambiente. L'utilizzo di approcci di lateration è scoraggiante per la localizzazione con RSS in quanto sarebbe complicato partizionare l'ambiente e individuare per le microzone degli indici di pathloss opportuni.

Detto ciò metodi di localizzazione che fanno uso del fingerprinting sono da preferirsi nella localizzazione che faccia uso della tecnologia 802.11 e del RSSI come parametro per ottenere le misure di potenza.

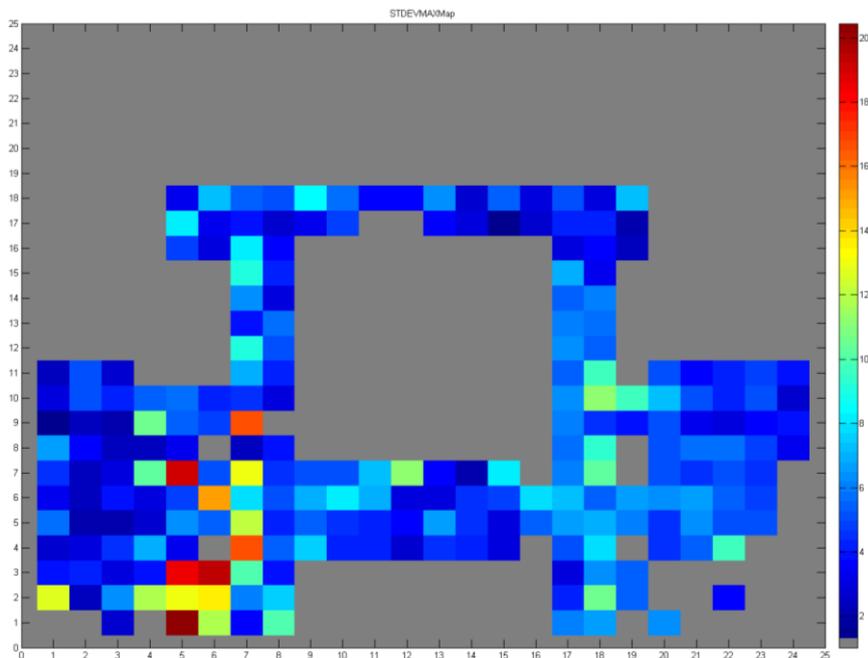




Analisi Powerloss in funzione della distanza per 3 AP

Analisi sugli algoritmi

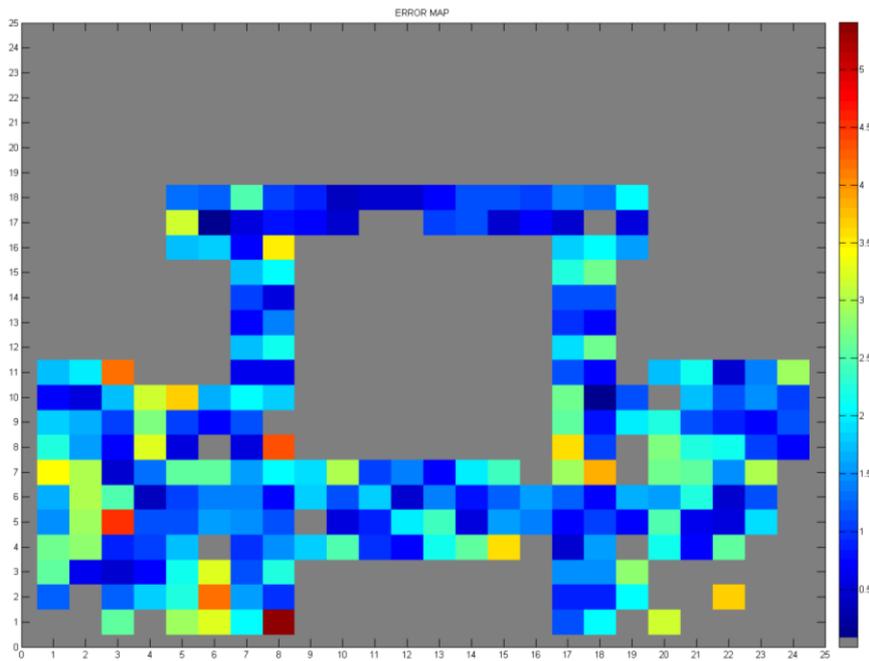
Una prima valutazione qualitativa degli algoritmi di fingerprinting è stata possibile a partire dalle misure condotte. Nella figura seguente viene evidenziata la variazione massima del segnale in ogni punto del testbed su tutti i 5 AP.



Mapa della deviazione standard massima per ogni punto su 5AP

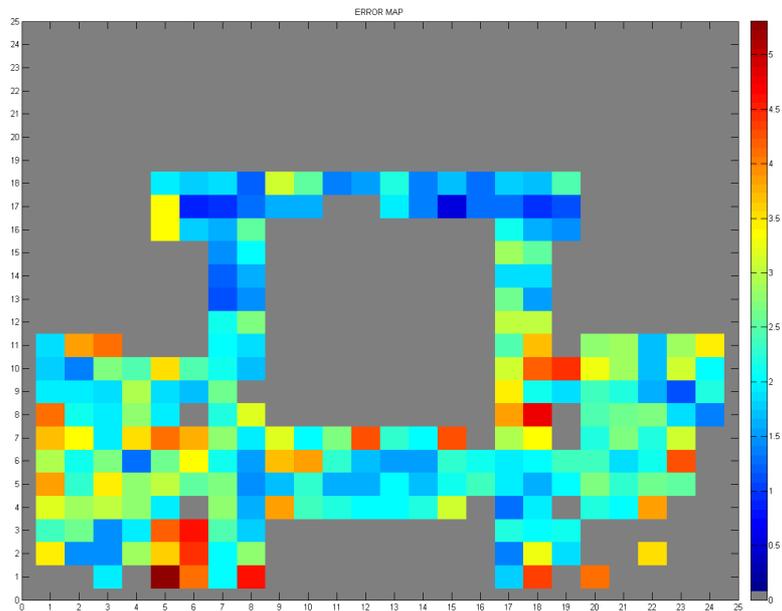
Usando l'algoritmo weighted k-Nearest Neighbours, la posizione stimata viene calcolata come media pesata delle coordinate dei k ($k=2$) punti di riferimento più vicini nello spazio delle distanze euclidee tra i fingerprint.

La mappa dell'errore medio usando la media dei valori di RSSI tra tutti i samples sia per il punto di riferimento che per il punto di test si può notare nella figura seguente.

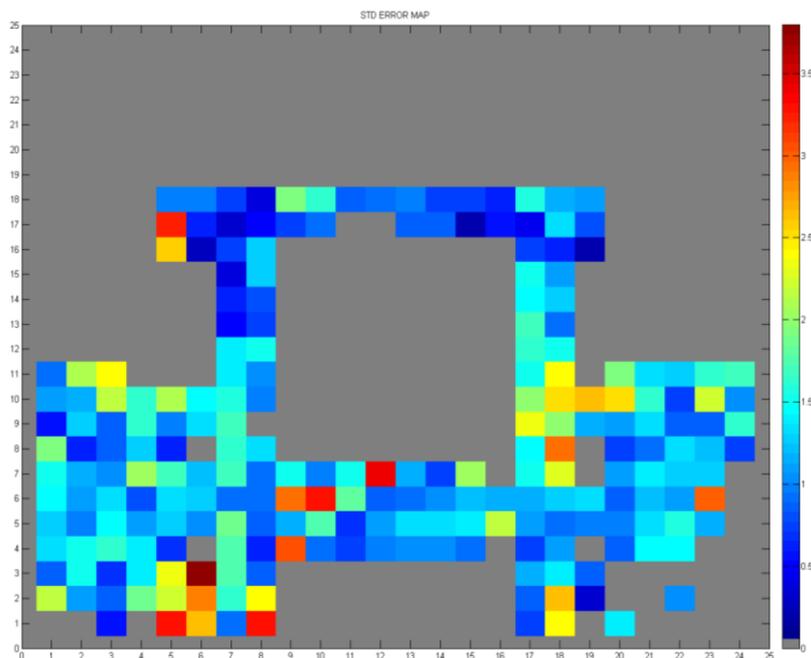


Mappa dell'errore medio usando la media sia per punti di riferimento che per punti di test

Usando invece tutti i vettori di fingerprint istantanei di test e facendo la media e la deviazione standard dell'errore per ogni punto del testbed si ottiene una mappa dell'errore medio come mostrato nella figura seguente dove è visibile la deviazione standard dell'errore.

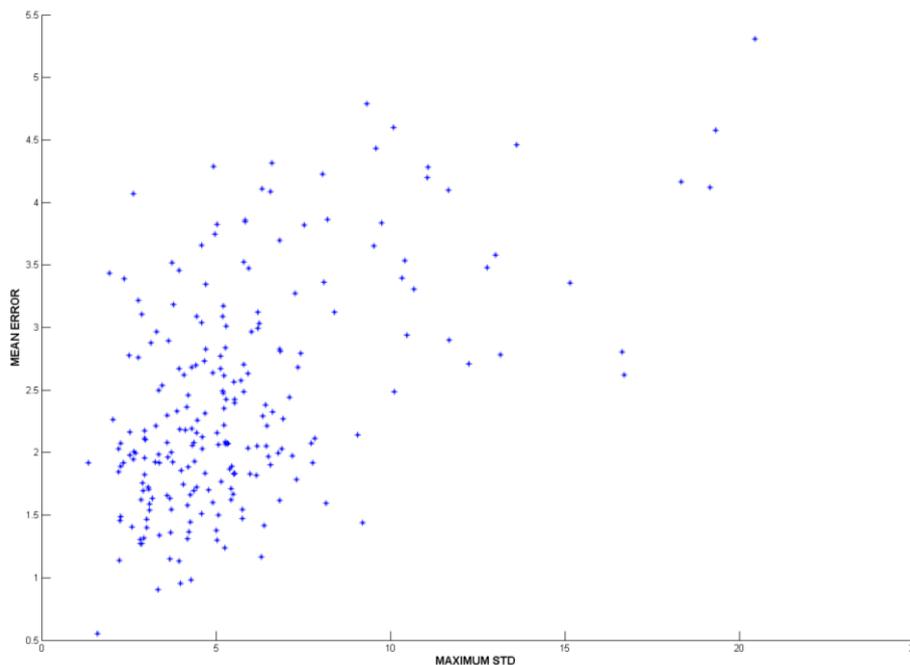


Mappa dell'errore medio al variare del vettore di test



Mappa della deviazione standard dell'errore al variare del vettore di test

La dipendenza dell'errore medio dal valore massimo della deviazione standard su 5 AP viene evidenziata nel grafico di seguito.



Dipendenza dell'errore medio dalla deviazione standard massima per ogni punto su 5AP

Simulazione della propagazione del campo generato da dispositivi 802.11

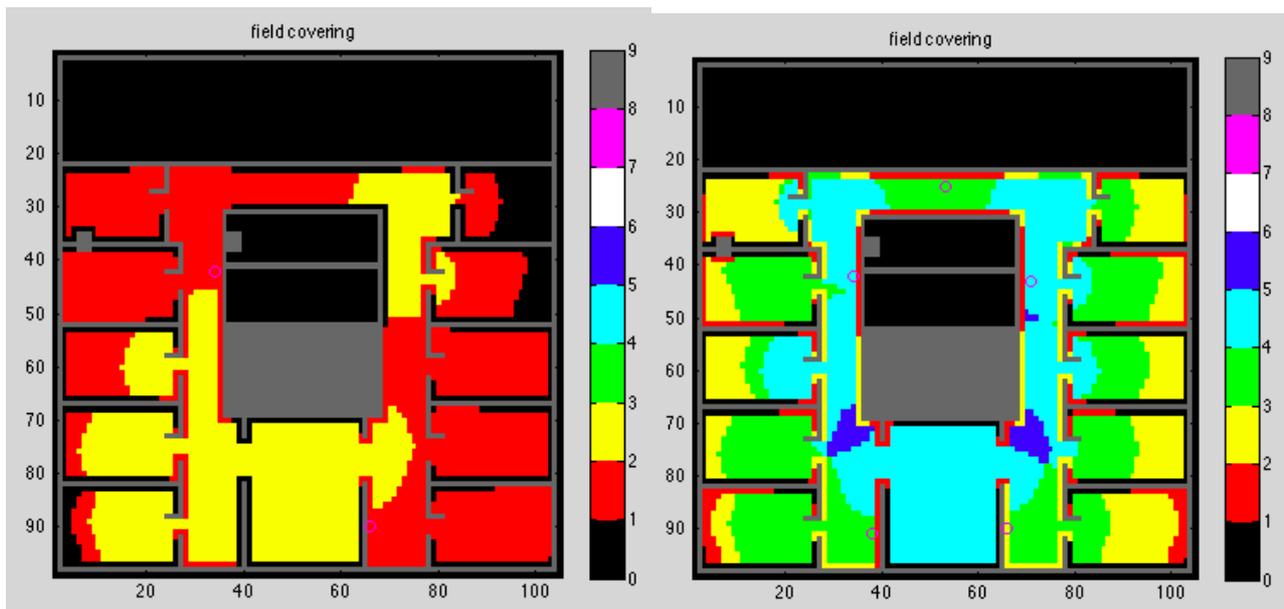
Oltre all'analisi condotta attraverso le misure di path loss, è stato realizzato un software di simulazione della copertura del campo al fine di osservare la possibilità di poter stimare o comunque prevedere la dispersione del campo proveniente dagli AP.

Il software di simulazione realizzato in linguaggio ad alto livello, quale MATLAB non tiene conto di fenomeni come la riflessione, l'assorbimento ma tiene conto semplicemente della trasmissione del campo nella Line-view degli AP e di una molto semplificata funzione di diffusione.

L'analisi per via simulativa confrontata con quella sperimentale, ha mostrato quanto difficile sia la possibilità di stimare il campo proveniente dagli AP rispetto a quello generato nella condizione reale.

Questo per via di fattori che introducono un'aleatorietà nella variabilità nonché nella propagazione del segnale.

Effetti di multipath, presenza di ostacoli nell'ambiente e fading sono difficilmente contemplabili in un software di simulazione, per via del fatto che all'interno dello stesso ambiente è semplicistico supporre che il campo si attenui con lo stesso gradiente di pathloss.



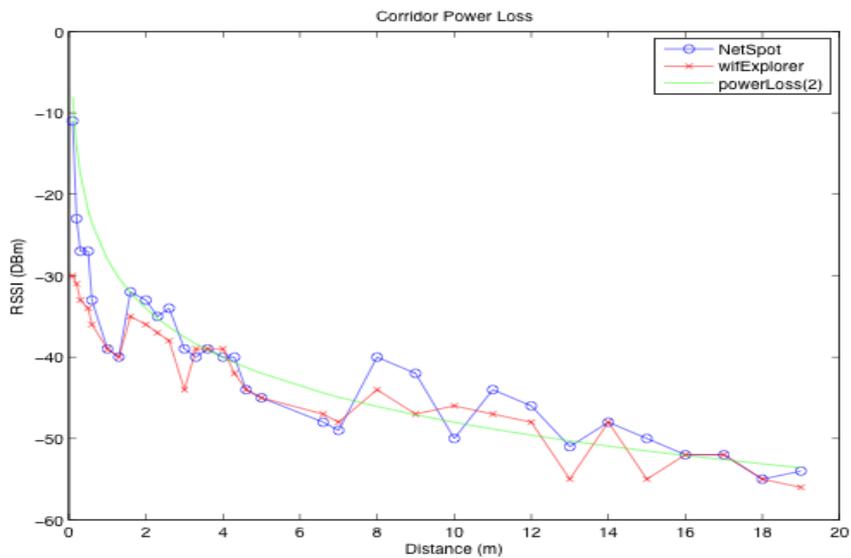
Simulazione di una copertura radio di AP e overlap degli stessi nell'ambiente di test

Analisi sull'ambiente hanno mostrato come varia il gradiente di path loss è quanto difficile sia mediante con tecniche predittive valutare il path loss stesso in ambiente partizionato.

Le prove sono state condotte nel corridoio dell'ICAR-CNR 2° piano in una situazione di Line of Sight e hanno evidenziato aspetti di non linearità in prossimità di antenna e un'oscillazione periodica con una variabilità anche di 10 dB in alcuni punti.

In figura seguente sono riportati i valori del path loss a diverse distanze, è altresì plottato il power loss con indice pari a 2. Le misure sono state realizzate con due software differenti quale Netspot e Wifi Explorer.

L' utilizzo di due software differenti è motivato dalla verifica che non sussistano variazioni di lettura derivanti dall'applicativo.

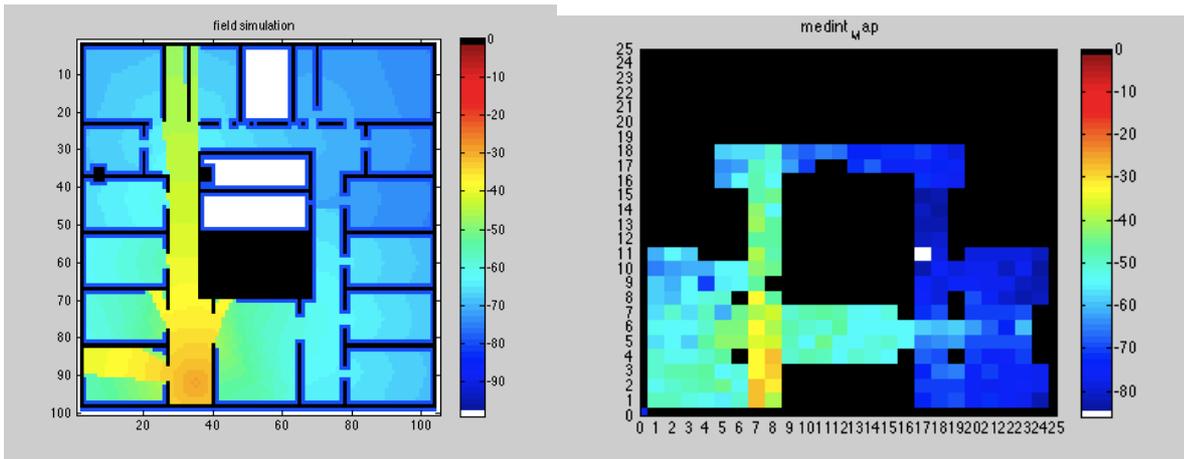


Path loss a diverse distanze

Nelle figure seguenti è mostrata la distribuzione di campo di un ap ottenuta per via simulativa, figura sulla sinistra e reale distribuzione del campo sulla destra.

I punti nella simulazione dove il campo è più forte sono rappresentati da quelli in Los rispetto la posizione dell'ap, si osserva che il modello è troppo semplicistico per poter osservare la distribuzione reale di campo.

C'è da osservare che a livello simulativo si avrebbero un grande numero di variabili da controllare per ottenere simulazioni quanto più fedeli alla realtà, oltre al fatto che si paga un costo computazionale derivante dalla complessità delle simulazioni stesse.



simulazione della copertura radio di un ap confrontata con la reale copertura

6.2 Polo Didattico (ambiente semi-indoor)

L'edificio del polo didattico sito in viale delle scienze all'interno dell'UNIPA è un complesso con un'area di 174m x 54m.

Trattasi di un edificio con un ampio corridoio centrale ai cui lati sono disposte delle aule. Le aule ad anfiteatro ed in numero pari a 12 sono disposte ai lati di tre macrozone dalla forma quadrata e sono separate dai corridoi centrali mediante muri in cemento armato.

Il tetto alto una decina di metri è costituito in prevalenza da vetri a specchio e da un'intelaiatura metallica. Vetri a specchi sono disposti in prevalenza ai lati dell'edificio.

La topologia dell'edificio consente di identificarlo come un tipico ambiente di test non strutturato semi-indoor.



Visione esterna del polo Didattico



Locali interni e visione esterna del polo didattico

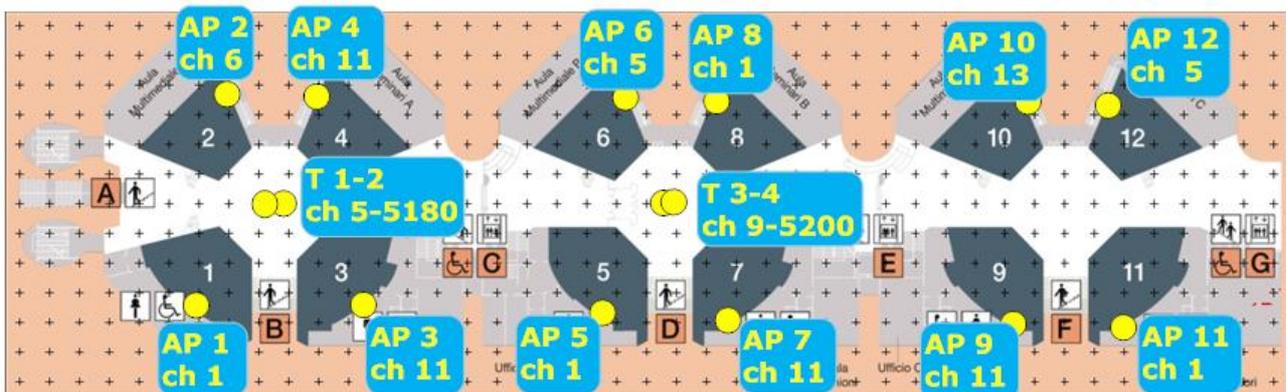
6.2.1 Network planning

L'operazione di site survey ha evidenziato nella struttura la presenza di AP utili alla realizzazione dell'infrastruttura dati all'interno della struttura.

In particolare in ogni aula trovano collocazione AP MikroTik Router Board RB951G-2HnD Wireless-N disposti sulla fiancata di ogni aula ad un'altezza di circa 4 metri.

Sui corridoio centrale (zona totem) sono disposti ulteriori AP HP-PROCURVE con interfaccia a 2.4 e 5 GHz.

La posizione e i canali dove sono posti gli AP nell'edificio è indicata nella figura seguente; si osserva che gli ap nella zona centrale sono operanti a 2.4 GHz e 5 GHz, rispetto a quelli presenti nelle aule operanti solo a 2.4 GHz.



mapa del polo didattico con griglia a 4 metri e copertura dati degli AP già presenti

La valutazione dei livelli di segnale dei diversi AP e dei canali su cui sono settati è stata fatta mediante misure incrociate di rilevazioni realizzate con smartphone android e software per pianificazione Netspot disponibile su piattaforma mac OSX.

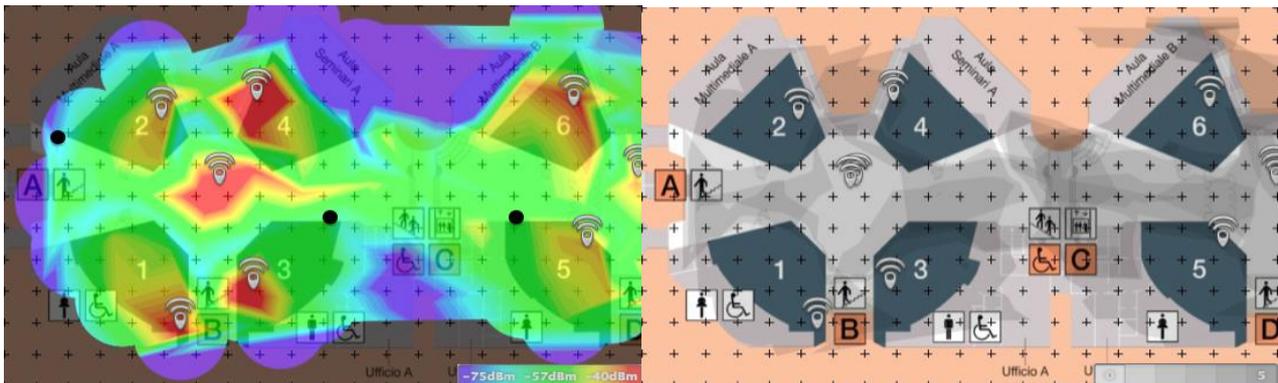
Per definire l'infrastruttura di localizzazione e pianificarla, si è scelto di utilizzare anche i contributi di campo provenienti dagli AP esistenti ed effettuare un'integrazione in fase successiva.

È stato analizzato in particolare modo il numero di AP che si sovrappongono con un certo livello di segnale pari a -75 dbm nei diversi punti dell'ambiente di test.

L'analisi condotta ha evidenziato che in molti casi il segnale proveniente dagli AP disposti nelle aule rimane confinato nell'aula stessa, tranne in pochi casi dove alcune componenti sono osservabili nella zona del corridoio centrale con un livello di potenza sopra la soglia scelta.

Per quanto riguarda il segnale proveniente dagli AP posti nel centro corridoio si è osservato che il segnale decade molto lentamente per via dell'effetto del corridoio stesso che si comporta come una guida d'onda.

In ogni caso si denota la mancanza di un'ipotesi di regolarità, vista la presenza di massimi e minimi locali in diverse zone del campo; ciò non consente di poter adottare delle soglie superiori o inferiori di taglio del segnale proveniente dai vari AP per la localizzazione con il metodo del fingerprinting in quanto questo potrebbe portare all'eliminazione di componenti significative.

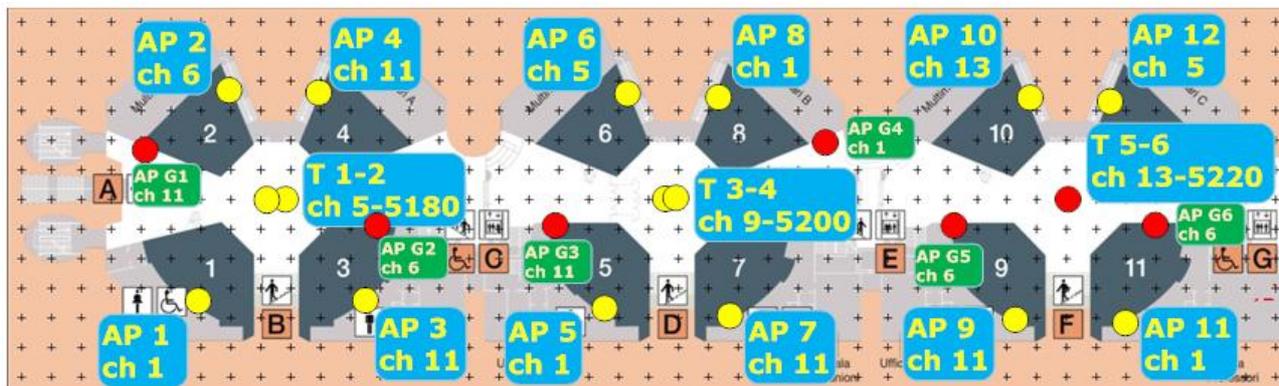


Copertura del segnale (immagine a sinistra) e numero di AP percepiti con una certa intensità di segnale (immagine a destra) prima della pianificazione

L'obiettivo della pianificazione dovrà garantire in ogni punto almeno la copertura di 5 diversi AP con un'intensità di segnale sopra la soglia di -75 dbm.

La zona di interesse per la localizzazione è quella del corridoio centrale, per cui i nuovi AP sono collocati tenendo conto delle zone di copertura evidenziate in precedenza e considerando i vincoli relativamente al numero di ap percepiti in un punto con un certo livello di potenza.

Ulteriori ap sono quindi installati ai lati delle aule, in particolare sono state utilizzate 6 alix2d2 operanti a 2.4Ghz, disposte ad un'altezza di circa 2 metri dal suolo su dei pannelli così come osservabile in figura.



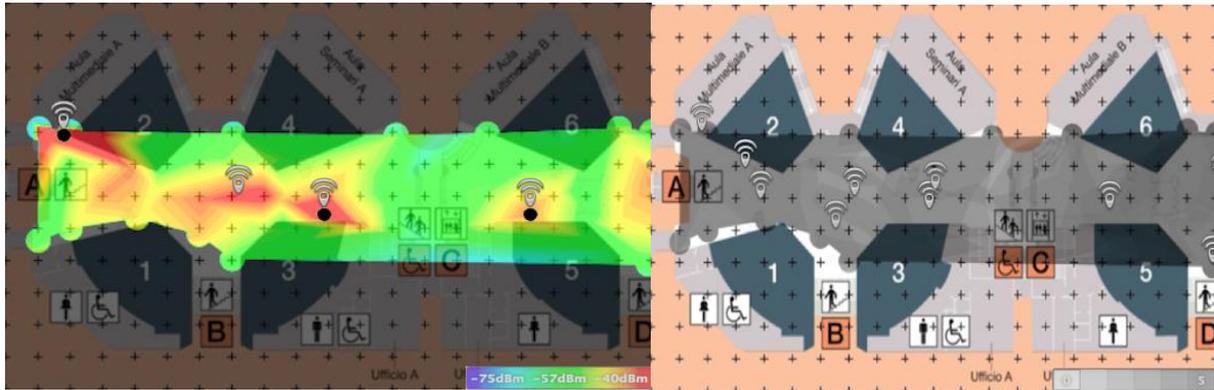
pianificazione dei nuovi ap



disposizione degli ap alix2D2 e posizione dei totem centrali dove sono presenti gli HP-PROCURVE con interfaccia a 2.4 e 5 GHz

L'assegnazione dei canali dei nuovi AP è stata ottimizzata per non pregiudicare la funzionalità dell'infrastruttura dati esistente cercando di eliminare i problemi dell'interferenza relativamente ai canali adiacenti.

La nuova configurazione topologica è stata nuovamente analizzata valutando i livelli di copertura del segnale nelle zone di interesse.



Copertura del segnale (immagine a sinistra) e numero di AP percepiti con una certa intensità di segnale (immagine a destra) dopo la pianificazione

Come osservabile dalla figura precedente che mostra la copertura del segnale e il numero di ap visibili in diversi punti in un'ala dell'edificio dopo il planning, vengono in gran parte delle zone di copertura soddisfatti i vincoli prefissati.

Il numero totale di AP che saranno considerati nella fase di localizzazione è di 24.

6.2.2 Risultati sperimentali

La sperimentazione, secondo la struttura dei metodi di fingerprinting, è suddivisa in fase offline e fase online.

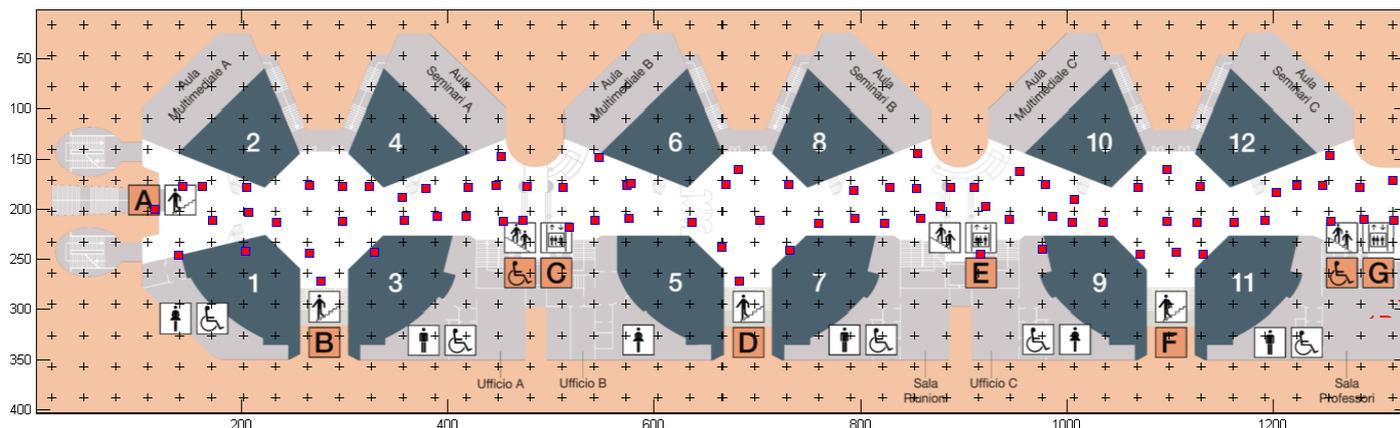


Figura 7 Pianta dei punti di riferimento

Nella fase offline il fingerprint di 82 punti di riferimento (scelti casualmente usando una griglia di punti equispaziati) viene registrato. Ciascun punto di riferimento, è caratterizzato da un fingerprint calcolato mediando la potenza ricevuta da ciascun AP sul canale di beacon entro un determinato intervallo di tempo.

La fase online, riguarda l'esecuzione del posizionamento mediante misurazioni da parte del terminale mobile di potenza dai vari accesspoint. 54 punti di test sono stati scelti casualmente e 5 misure sono state effettuate per ciascun punto.

La valutazione delle prestazioni degli algoritmi di localizzazione è stata effettuata in termini di:

- errore medio di localizzazione: rappresenta la media dell'errore di stima rispetto all'effettiva posizione del terminale;
- deviazione standard: rappresenta la deviazione standard dell'errore di stima rispetto all'effettiva posizione del terminale .

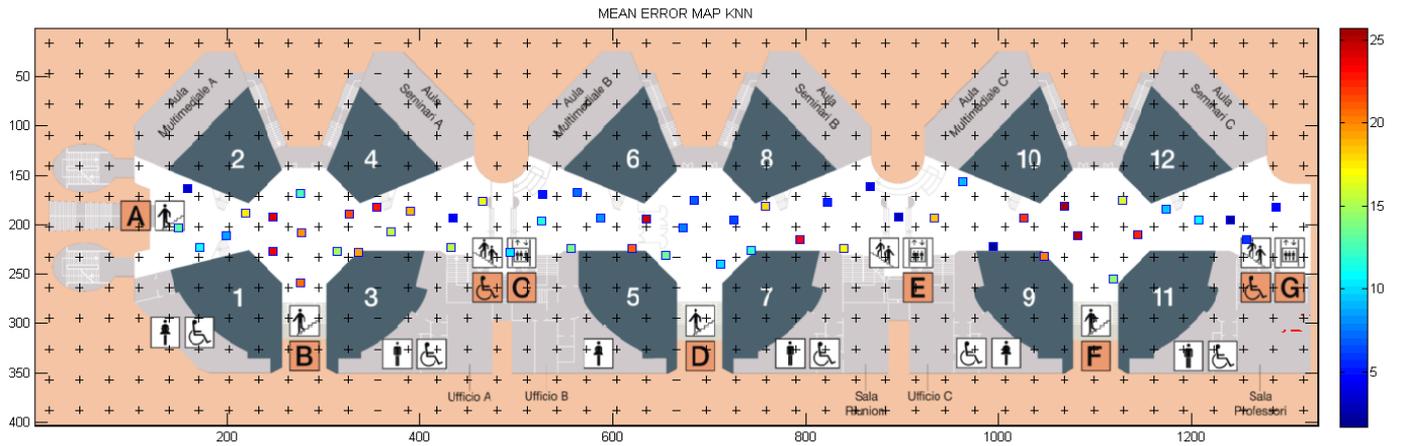


Figura 8 Errore medio kNN (k=1)

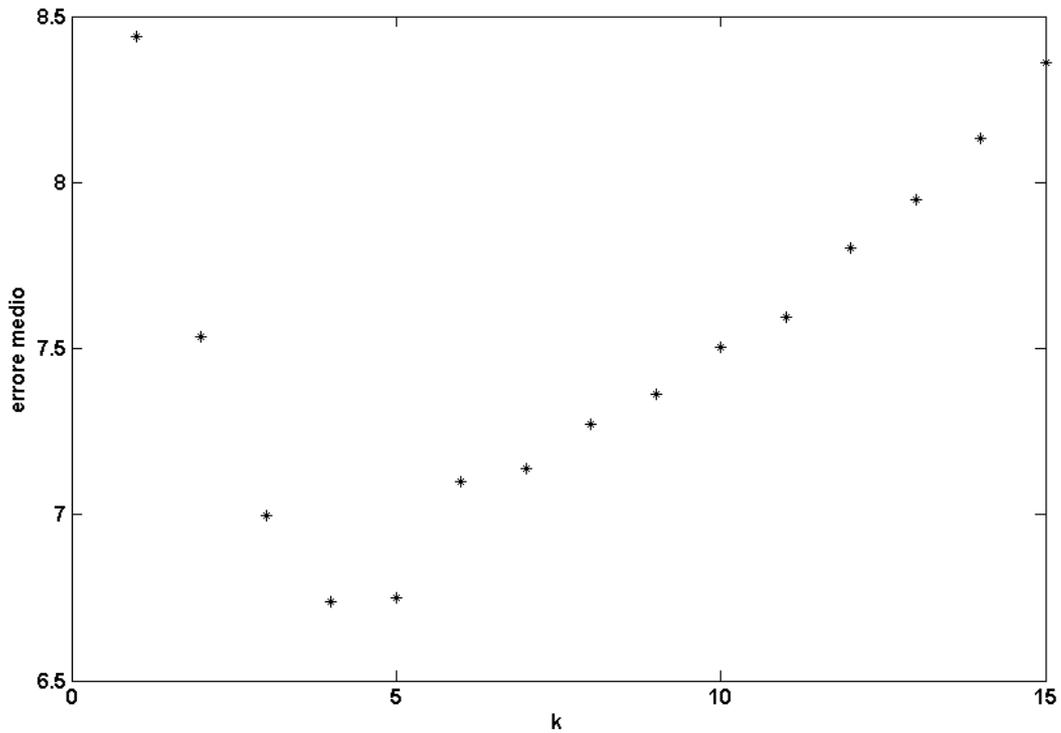


Figura 9 variazione dell'errore medio al variare di k in kNN

Al variare di k l'errore medio di localizzazione varia. L'errore minimo che si ottiene è:

metodo	parametro	Mean	Std
kNN	k=4	6.739	3.475

WeightedkNN	k=5	6.678	3.506
k-Means	cardinalità cluster finale=4	7.406	4.069
Weighted k-Means	cardinalità cluster finale=4	7.244	4.087

Un totale di 64 AP sono stati individuati in fase offline, mentre in fase online sono stati individuati 58.

In presenza di pubblico in fase online, la mappa dell'errore medio di localizzazione con kNN (k=1) diventa:

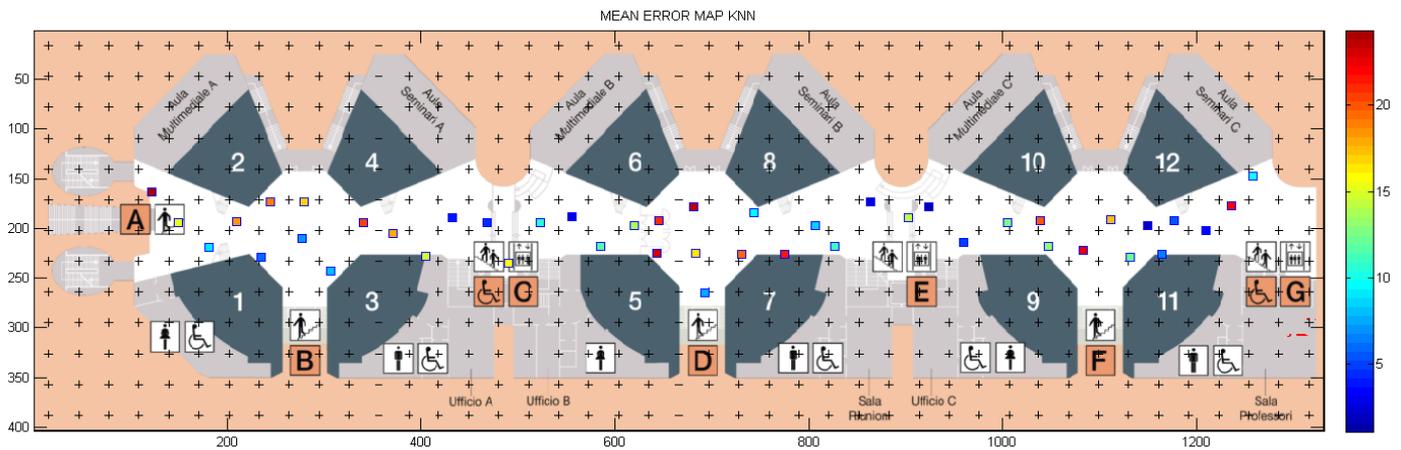


Figura 10 Errore medio kNN (k=1) test con pubblico

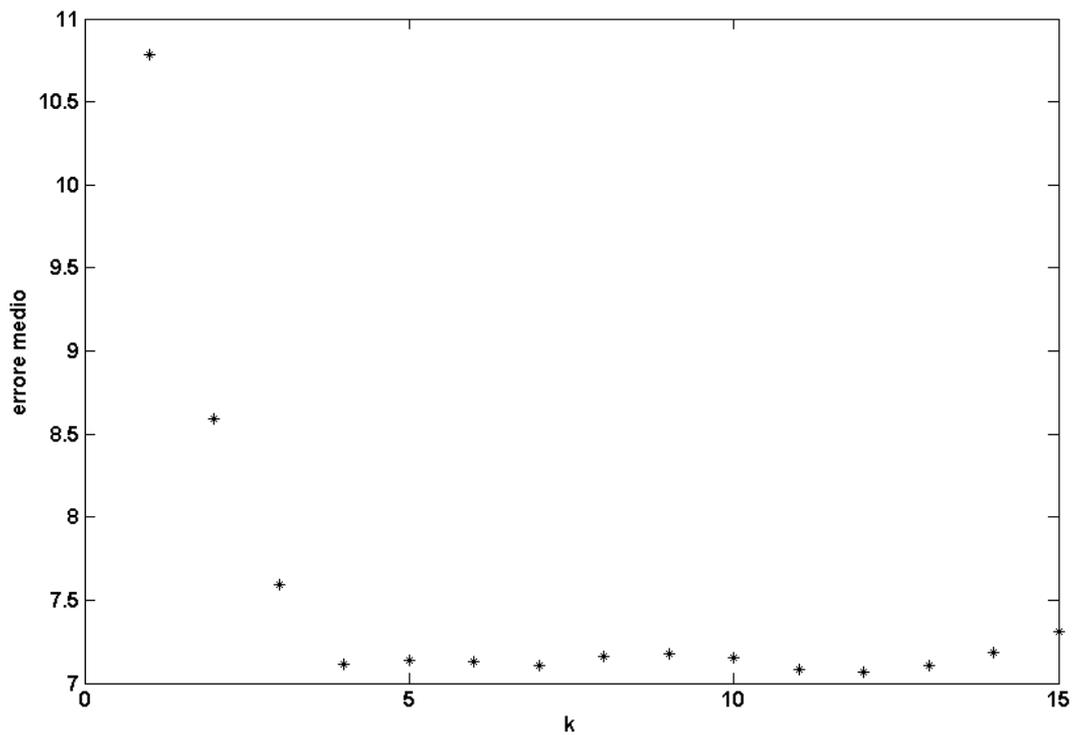


Figura 11 variazione dell'errore medio al variare di k in kNN test con pubblico

L'errore minimo che si ottiene è:

metodo	k	Mean	Std
kNN	12	7.067	4.377
WeightedkNN	12	6.950	4.170
k-Means	cardinalità cluster finale=4	8.365	5.204
Weighted k-Means	cardinalità cluster finale=4	8.504	5.251

In fase online, in presenza di pubblico, sono stati individuati 58 AP per i 45 punti di test considerati.

7 Disseminazione dei risultati

7.1 PalermoInsegna 2014



L'esperienza di Ateneo Palermo Insegna 2014 la cui sede è l'Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Complesso polididattico- edificio 19, ha permesso di mettere in pratica l'esperienza maturata sulla localizzazione indoor nei primi mesi di attività di progetto, in particolare sulla pianificazione e sugli algoritmi di fingerprinting attraverso il test di un' applicazione di localizzazione funzionante su smartphone android e basata su un progetto opensource.

La stessa manifestazione è stata occasione di disseminazione dei risultati dell'attività di ricerca.

La settima edizione di Esperienza inSegna, dal titolo "Certo... è probabile" ha visto protagonista l'ICAR- CNR all'interno del progetto Geopos con la presentazione dal tema "Localizzazione in ambienti chiusi mediante algoritmi statistici e tecnologia wi-fi".



complesso del Polididattico

Seguendo il protocollo tipico della manifestazione studenti di due classi dell' istituto superiore Liceo Scientifico Benedetto Croce sono stati coinvolti in una sperimentazione scientifica sul campo e successivamente nella presentazione dell'attività agli studenti visitatori della manifestazione in occasione dell'exhibit realizzato dall'ICAR-CNR.

L'esperienza di sperimentazione sulla localizzazione indoor che ha visto coinvolti due gruppi di studenti formati da classi 4D-5E è stata accompagnata da due seminari, rispettivamente uno teorico-divulgativo sulla tecnologia wi-fi e sulle tecniche di localizzazione, ed uno sull'uso delle applicazioni mobile di localizzazione (logger e localizzatore).

Installata l' applicazione di localizzazione sul proprio smartphone, gli studenti hanno quindi partecipato ad una campagna di misure sul sito Polididattico, sede della successiva manifestazione espositiva, acquisendo le misure di campo nei punti di riferimento prestabiliti e verificandone la variabilità spazio-temporale.

Sono quindi stati addestrati all'utilizzo della applicazione di localizzazione ed alla valutazione delle statistiche dell'accuratezza di localizzazione.

Durante la settimana della manifestazione espositiva hanno quindi, a turno, illustrato ai colleghi delle scuole intervenute la metodica di localizzazione e l'uso dell'applicazione.

Di seguito sono riportati i poster esposti ed un insieme di foto della manifestazione.

7.1.1 Poster esibiti

LOCALIZZAZIONE IN AMBIENTI CHIUSI MEDIANTE IMPRONTA DEL SEGNALE RADIO

UE-F.E.S.R. REGIONE SICILIA - Progetto GEOPOS
C. Giaconia[§], C. Lupascu*, A. Machi*, L. Minneci*,
A. Scianna[¶], G. Tarantino*, M. Tripiciano*

[§]Univ. di Palermo, *ICAR-CNR, [¶]IBAM-CNR

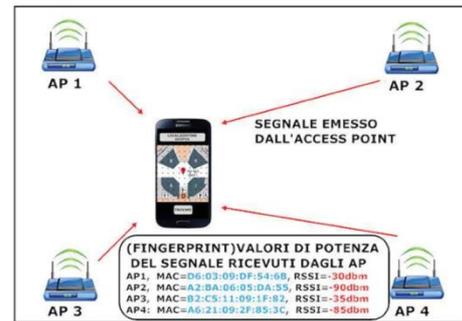


Liceo Scientifico B. Croce - Sez. 4D e 5E
I. Baglio, G. Barravecchia, A. Basile,
F. Castelli, G. D'Agostino, G.L. Di Grado,
C. Giro, A. Pizzo, M. Stagno, F. Stassi,
M. Trentacosti, E. Tumminia, D. Tuzzolino

Localizzazione in ambienti chiusi (INDOOR)

La tecnologia GPS, che consente la localizzazione in ambienti esterni non può essere utilizzata in ambienti chiusi.

Come è possibile allora effettuare la localizzazione in tali ambienti ?
Semplice! Utilizzando dispositivi dotati di interfaccia **WiFi**, dove smartphone e tablet costituiscono gli oggetti da localizzare e gli Access Point (**AP**) consentono di formare l'infrastruttura di localizzazione.

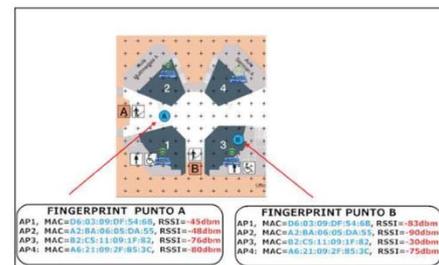


Fase di acquisizione del segnale proveniente dagli AP.

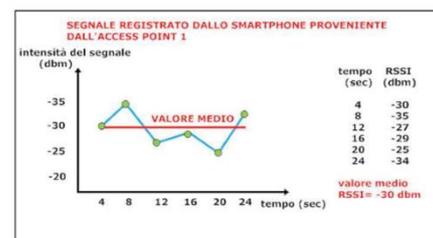
Come avviene la localizzazione

- 1- Gli Access Point periodicamente inviano dei segnali contenenti informazioni come il nome della rete e il **MAC ADDRESS** utilizzato per identificare l'AP.
- 2- Il terminale registra i valori di **RSSI** (Received Signal Strength Indicator) del segnale rilevati da diversi AP e lo confronta con una mappa radio del segnale precedentemente costruita, posizionandosi in diversi punti dell'ambiente e raccogliendo l'impronta radio del segnale, anche detta **FINGERPRINT**. Punti diversi nell'ambiente hanno valori di fingerprint differenti.
- 3- Degli algoritmi di localizzazione consentono in modo probabilistico la stima della posizione.

Il segnale percepito in un punto non sarà costante, ma è soggetto a fluttuazioni nel tempo per via delle condizioni di propagazione variabili. Per tale motivo la mappa radio è costruita con i **valori medi** dell'RSSI presi in un certo intervallo temporale.



Fingerprint del segnale in punti diversi.

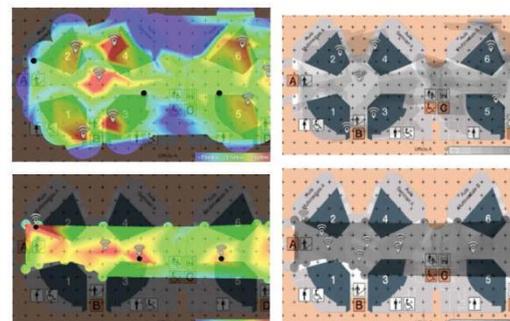


Variazione del segnale nel tempo.

Come pianificare un' infrastruttura di localizzazione

Si effettua uno studio volto ad ottimizzare la copertura degli AP.

- 1- Valutazione della copertura del segnale dei diversi AP presenti.
- 2- Inserimento di nuovi AP in modo da garantire che in ogni punto si ricevano da essi stessi segnali con un livello di potenza che sia sopra una certa soglia.
- 3- Differenziazione dei canali in modo da eliminare interferenze.



Copertura del segnale (immagini a sinistra) e numero di AP percepiti con una certa intensità di segnale (immagini a destra). In alto prima della pianificazione ed in basso dopo avere inserito ulteriori AP per migliorare la copertura (v. pallini neri)

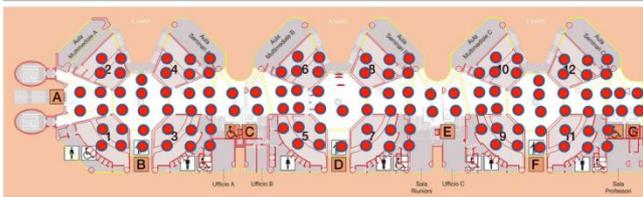
Algoritmi di localizzazione statistica in ambienti chiusi basati sull'impronta del segnale radio (fingerprinting)

UE-F.E.S.R. REGIONE SICILIA - Progetto GEOPOS
 C. Giaconia[§], C. Lupascu[^], A. Machi[^], L. Minneci[^],
 A. Scianna[^], G. Tarantino[^], M. Tripiciano[^]
[§]Univ.di Palermo, [^]ICAR-CNR, [^]IBAM-CNR



Liceo Scientifico B. Croce - Sez. 4D e 5E
 I. Baglio, G. Barravecchia, A. Basile,
 F. Castelli, G. D'Agostino, G.L. Di Grado,
 C. Giro, A. Pizzo, M. Stagno, F. Stassi,
 M. Trentacosti, E. Tumminia, D. Tuzzolino

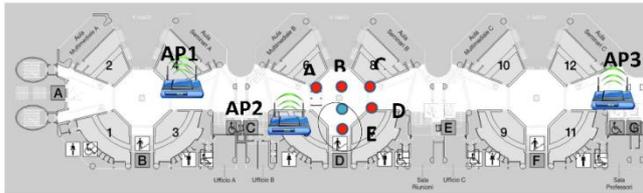
Fase di registrazione dei valori di RSSI nei punti di riferimento (offline)



Punti di riferimento ●

- La potenza del segnale (in dBm) è data dall'indicatore RSSI (Received Signal Strength Indicator)
- Il segnale si attenua durante la propagazione in funzione della distanza dalla sorgente e dagli ostacoli incontrati

Fase di localizzazione (online)



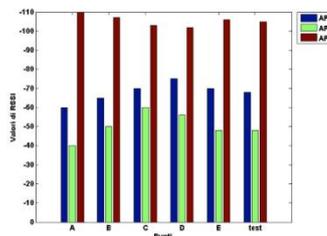
Punto di test ●

Posizione stimata ○

Valori di RSSI letti nella fase offline:

- A: -60; -40; -110
- B: -65; -50; -107
- C: -70; -60; -103
- D: -75; -56; -102
- E: -70; -48; -106

Valori di RSSI letti nella fase online per il punto di test:
 -68; -44; -105

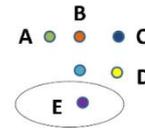


Distanza calcolata in base all'intensità del segnale $\sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2}$

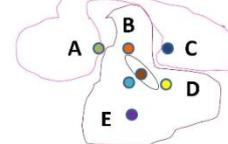
Distanza tra il punto di test e i punti di riferimento:

- A: 12.3693 ● B: 4.1231 ● C: 12.3288 ● D: 11.0454 ● E: 2.2361 ●

k Nearest Neighbour (kNN) "Posizione del vicino più simile"



Clustering con KMeans "Baricentro tra le posizioni dei 3 vicini più simili"



Algoritmi:

k Nearest Neighbour (kNN): il punto stimato è il punto di riferimento più vicino dal punto di vista della distanza calcolata in base all'intensità del segnale

Clustering con KMeans: il punto stimato è il baricentro $M\left(\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}\right)$ dei 3 punti di riferimento più simili dal punto di vista della distanza calcolata in base all'intensità del segnale

Accuratezza: intervallo di errore (in metri)

Precisione: la probabilità di essere localizzati nell'intervallo di errore (in percentuale)

L'accuratezza media della localizzazione al Polo Didattico campionato con una griglia di 4 metri risulta essere nell'intorno degli 8 metri.

Bisogna osservare che questa risulta essere dipendente da aspetti legati alla variabilità di propagazione del segnale radio nel tempo, dalla modalità di impugnatura dello smartphone che potrebbe oscurare l'antenna WiFi e dalla presenza di persone che causano un'attenuazione del segnale.

7.1.2 Foto della manifestazione



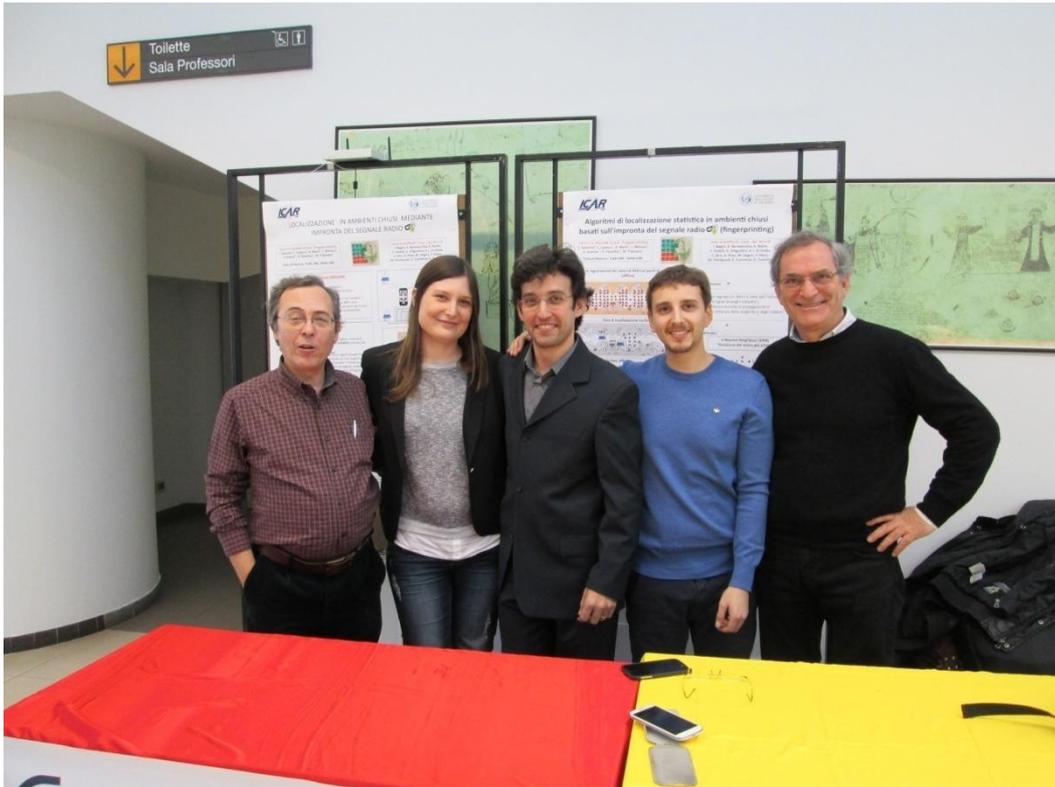
Briefing con gli studenti per concordare le modalità della dimostrazione



Un momento della dimostrazione alle classi di studenti visitatori



Dimostrazione all'Assessore Regionale alla Formazione Nelli Scialabra



Il team di Progetto

8 Conclusioni

Il rapporto descrive alcuni aspetti di approfondimento teorico, prove sperimentali e di verifica di metodologie di fingerprinting, nonché attività di sperimentazione sul campo e disseminazione svolte nell'ambito del Progetto GEOPOS durante il periodo Marzo 2013-Aprile 2014.

L'attività è consistita nell'approfondimento teorico-pratico dello stato dell'arte nella localizzazione indoor client-side con metodologia di fingerprinting ed in particolare nella verifica sperimentale degli aspetti tecnici delle modalità di pianificazione del network, delle modalità di acquisizione dei valori di intensità del campo generato dal segnale a radiofrequenza, e nell'adattamento di un sistema software open-source al trattamento dei dati.

Verificata la difficoltà di applicare modelli di path loss, anche a zone, in ambienti strutturati, ci si è concentrati sulla localizzazione tramite fingerprinting, che caratterizza un campo attraverso la ennupla dei valori medi ordinati delle intensità del segnale di ogni AP in punti di riferimento.

Si è verificato come ciascuna di tali componenti del fingerprinting sia di per sé una variabile aleatoria soggetta a fluttuazioni statistiche, anche significative, dovute ad un insieme di fattori come la variazione delle caratteristiche di assorbimento del mezzo interposto, presenza di

segnali riflessi, direzionalità e guadagno di antenna, interferenze fra segnali di emettitori diversi sullo stesso canale di trasmissione, etc.

La distribuzione di intensità del campo risultante dall'interazione del segnale radio emesso dall'AP con l'ambiente confinante risulta complessa, generalmente decrescente con la distanza, ma non radialmente monotona, con massimi e minimi locali e difficilmente rappresentabili con modelli di path loss basati su funzioni decrescenti secondo leggi di potenza, anche a distanza dalla zona di prossimità all'antenna, specialmente in caso di ambienti strutturati.

Il metodo presuppone che, se la geometria dell'ambiente non subisce trasformazioni, se i valori medi dell'intensità rappresentano ragionevolmente il fingerprint di un punto di riferimento e se i punti di riferimento campionano opportunamente o con frequenza spaziale elevata l'ambiente, la radio mappa costituisca una buona approssimazione spaziale dei campi nell'area campionata.

Dato il vettore delle componenti istantanee rilevato in un qualunque punto di test, esso dovrebbe essere più simile in media ai fingerprint dei punti di riferimento spazialmente vicini che a quelli spazialmente lontani. La presenza di un numero elevato di AP, e quindi di componenti della misura, dovrebbe irrobustire la somiglianza media limitando l'influenza di irregolarità nella distribuzione del campo del singolo AP.

Gli algoritmi di localizzazione tramite radiomappa tendono quindi a selezionare un numero minimale di punti di riferimento sulla radio mappa simili nel fingerprinting e stimare la posizione del punto di test attraverso interpolazione o media pesata delle coordinate dei punti individuati.

E' stata effettuata quindi una campagna di mappatura di un largo ambiente indoor parzialmente strutturato presso il Polo Didattico dell'Università di Palermo (PoloP1), adattando al planning le regole di buona pratica suggerite in letteratura ed in particolare, quelle suggerite dalla Cisco.

E' stato quindi utilizzato ed adattato il package open-source AirPlace utilizzato per la acquisizione dei segnali RSSI su terminale mobile, per il calcolo delle radio mappe su server e la localizzazione su terminale mobile.

La tabella sotto riportata indica i valori di accuratezza media di localizzazione di 54 punti di test, con le relative deviazioni standard medie, ottenute utilizzando 24 AP per coprire una superficie di 172x54 mq circa, e campionando quasi uniformemente con 82 punti di riferimento la parte centrale di 150 x 20 metri circa, con punti di riferimento su una griglia quadrata di 4 metri di lato.

Algoritmo	parametro	Accuratezza media (m)	Deviazione standard (m)
kNN	k=4	6.739	3.475

WeightedkNN	k=5	6.678	3.506
k-Means	cardinalità cluster finale=4	7.406	4.069
Weighted k-Means	cardinalità cluster finale=4	7.244	4.087

accuratezza al variare dell' algoritmo di clustering in assenza di pubblico

metodo	k	Mean	std
kNN	12	7.067	4.377
WeightedkNN	12	6.950	4.170
k-Means	cardinalità cluster finale=4	8.365	5.204
Weighted k-Means	cardinalità cluster finale=4	8.504	5.251

accuratezza al variare dell' algoritmo di clustering in condizioni di locale affollato

I valori di accuratezza ottenuti (errore medio fra 7 ed 8 m +-4 m) sono compatibili con quelli descritti in letteratura per sistemi robusti commerciali in condizioni operative reali ma risultano meno performanti rispetto ad alcuni sistemi descritti in letteratura in ambienti di dimensioni e struttura simili. I valori ottenuti sono nettamente superiori alla distanza media dei punti di riferimento (4 metri), e sono affette da alta variabilità.

La ricerca proseguirà con analisi ed esperimenti volti a controllare in modo indipendente le variabili che influiscono sull'accuratezza effettuando anche nuove campagne di misura.

BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE Std 802.11™-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007)
- [2] IEEE Std 802.11™-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999)
- [3] Lui, Gough, et al. "Differences in RSSI readings made by different Wi-Fi chipsets: A limitation of WLAN localization." *Localization and GNSS (ICL-GNSS), 2011 International Conference on*. IEEE, 2011.
- [4] Bardwell, Joe. "Converting signal strength percentage to dBm values." (2002).
- [5] Bardwell, Joshua. "You Believe You Understand What You Think I Said...." *The truth about 802* (2004)
- [6] Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide May 20, 2008
- [7] Axel Kupper. Location-based Services: Fundamentals and Operation. John Wiley & Sons, 2005.
- [8] 802.11v-2011 - IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: IEEE 802.11 Wireless Network Management
- [9] Marc Ciurana, Francisco Barcelo-Arroyo, and Israel Martin-Escalona. Comparative performance evaluation of ieee 802.11v for positioning with time of arrival. *Comput. Stand. Interfaces*, 33(3):344{349, March 2011.
- [10] Android Developer Website. <http://developer.android.com/>, 2014
- [11] pc engines Website. PC Engines ALIX. <http://www.pcengines.ch/alix.htm>, 2014.
- [12] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," in *Proc. of Infocom'2000*, Tel Aviv, Israel, Mar. 2000, vol. 2, pp. 775–584
- [13] CASTRO, P., CHIU, P., KREMENEK, T., AND MUNTZ, R. A, "Probabilistic Location Service for Wireless Network Environments". *Ubiquitous Computing 2001* (September 2001)
- [14] Roos, T., Myllymaki, P., Tirri, H., Misikangas, P. and Sievanen, J., 2002. "A probabilistic approach to WLAN user location estimation". *International Journal of Wireless Information Networks*, 7 (3), 155-163

- [15] Youssef, M.A., Agrawala, A. and Shankar, U., 2003. WLAN location determination via clustering and probability distributions. First International Conference on Pervasive Computing and Communications, 143-150
- [16] Porifido, Maria Bianca. Localizzazione device-free in ambiente indoor con reti di sensori ZigBee, tesi di laurea magistrale, Univesità di Pisa, Facoltà di Ingegneria, Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
- [17] Mirowski, P., Milioris, D., Whiting, P. and Kam Ho, T. (2014), Probabilistic Radio-Frequency Fingerprinting and Localization on the Run. Bell Labs Tech. J., 18: 111–133
- [18] Charalampos Papamanthou, Franco P. Preparata, and Roberto Tamassia. 2008. Algorithms for Location Estimation Based on RSSI Sampling. In Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks, Indor P. Fekete (Ed.). Lecture Notes In Computer Science, Vol. 5389. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 72-86
- [19] Ramadurai, V. & Sichitiu, M. L. (2003), Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach., in Weihua Zhuang; Chi-Hsiang Yeh; Olaf Droegehorn; C.-T. Toh& Hamid R. Arabnia, ed., 'International Conference on Wireless Networks' , CSREA Press, pp. 275-281
- [20] Youssef, M., 2004. HORUS: A WLAN-Based indoor location determination system, Ph.D. Dissertation, University of Maryland, 2004
- [21] King, T., Kopf, S., Haenselmann, T., Lubberger, C., Effelsberg, W., 2006. COMPASS: A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses, 1st WiNTECH, Sept 2006, 34-40
- [22] Ekahau, 2010. <http://www.ekahau.com>, April 2010.
- [23] The Airplace Indoor Positioning Platform for Android Smartphones: C. Laoudias, G. Constantinou, M. Constantinides, S. Nicolaou, D. Zeinalipour-Yazti and C. G. Panayiotou KIOS Research Center for Intelligent Systems and Networks, University of Cyprus Department of Computer Science, University of Cyprus