

Ricevuto il 31 maggio 2019, accettato il 3 luglio 2019, data di pubblicazione 15 luglio 2019, data della versione corrente 5 agosto 2019.

Identificatore di oggetti digitali 10.1109 / ACCESS.2019.2928876

# Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine su tecnologie abilitanti, protocolli di localizzazione, e Internet of Underwater Things

MOHAMMED JOUHARI <sup>1</sup>, KHALIL IBRAHIMI <sup>1</sup>, HAMIDOU TEMBINE <sup>2</sup>,  
E JALEL BEN-OTHTMAN <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio MISC, Facoltà di Scienze, Università Ibn Tofail, Kenitra, Marocco

<sup>2</sup> Laboratorio di teoria dei giochi e dell'apprendimento, New York University, New York, NY 10003, USA

<sup>3</sup> Laboratorio L2S CNRS, CentraleSupélec, Università di Parigi 13, Francia

Autore corrispondente: Mohammed Jouhari (mohammed.jouhari@uit.ac.ma)

**ABSTRACT** La comunicazione subacquea rimane una tecnologia impegnativa tramite cavi di comunicazione e il costo della distribuzione della rete di sensori sottomarini (UWSN) è ancora molto alto. In alternativa, sott'acqua la comunicazione wireless è stata proposta e ha ricevuto maggiore attenzione nell'ultimo decennio. Preliminarmente la ricerca ha indicato che la comunicazione a radiofrequenza (RF) e magneto-induttiva (MI) raggiunge maggiore velocità di trasmissione dati nella comunicazione near field. La comunicazione ottica raggiunge buone prestazioni quando limitato al posizionamento in linea di vista. La comunicazione acustica consente un lungo raggio di trasmissione. Tuttavia, soffre di perdite di trasmissione e distorsione del segnale variabile nel tempo a causa della sua dipendenza da proprietà ambientali. Questi ultimi sono salinità, temperatura, pressione, profondità dei ricetrasmittitori e geometria dell'ambiente. Questo articolo si concentra sulle comunicazioni acustiche e magneto-induttive, quali sono le tecnologie più utilizzate per il networking subacqueo. Come la comunicazione acustica impiegato per applicazioni che richiedono un lungo raggio di comunicazione mentre l'MI è utilizzato per comunicazioni in tempo reale. Inoltre, questo documento evidenzia il compromesso tra proprietà subacquee e comunicazione wireless tecnologie e qualità della comunicazione. Questo può aiutare la comunità dei ricercatori fornendo una visione chiara per ulteriori ricerche.

**TERMINI DELL'INDICE** Reti di sensori wireless subacquee, comunicazioni wireless subacquee, comunicazioni magneto-induttive, comunicazioni acustiche, alimentazione wireless simultanea, informazioni trasferimento, Internet of Underwater Things.

## 1. INTRODUZIONE

La comunicazione subacquea rimane realizzata fino ad oggi tramite cavi di comunicazione a causa dello sviluppo limitato delle comunicazioni wireless subacquee. Tuttavia, l'uso di fili per garantire il collegamento tra i nodi del sensore a i fondali marini si traducono in costose reti di sensori. Per questa maggiore intenzione è data dalla comunità dei ricercatori a la comunicazione wireless subacquea. Quindi, è noto come mezzo di comunicazione stimolante quando è abbinato a connessioni cablate o wireless terrestri. Da bassa velocità di trasmissione su una breve distanza si ottiene tramite ricetrasmittitori sofisticati. Inoltre, l'ambiente marino è caratterizzato da diverse caratteristiche distintive che lo rendono

è unico e diverso dall'atmosfera dell'ambiente dove viene eseguita la tradizionale comunicazione terrestre. Come descritto nelle sezioni seguenti, le comunicazioni subacquee il catione deve affrontare diversi fenomeni come l'impatto relativo alla profondità su temperatura, salinità, pressione, venti e onde.

Quattro tecnologie potrebbero essere utilizzate come wireless subacqueo canale. Radiofrequenza (RF) impiegata per cavi terrestri meno comunicazione è abilitata anche per la comunicazione subacquea nicazione; raggiunge un'elevata velocità di trasmissione dati per comunicazioni brevi gamma e soffre di effetto Doppler. Trasmissione ottica è utilizzato anche per l'ambiente marino dove il blu-verde la lunghezza d'onda è consigliata per la trasmissione che richiede posizionamento in linea di vista. Un'altra tecnologia è il magnetico induzione che viene utilizzata principalmente per Internet di cose subacquee consentendo la comunicazione in tempo reale con una banda significativa larghezza poiché è indipendente dal danno ambientale

L'editore associato che coordina la revisione di questo manoscritto e ad approvarlo per la pubblicazione è stato Usama Mir.

come fading multipath e distorsione del segnale variabile nel tempo. Come mai, due problemi limitano l'uso di questa tecnologia. Sentiero perdita causata dall'accoppiamento e dalla conduttività tra le bobine. Il proprietà di campo vicino a causa della proprietà di non propagazione di l'onda magnetica in assenza della componente elettrica. Quest'ultima tecnologia è la comunicazione acustica, che è la più popolare nelle comunicazioni subacquee per la sua lunga durata raggio di comunicazione.

Ricercatori che lavorano allo sviluppo di Underwater la rete di sensori dovrebbe considerare la progettazione di un obiettivo a lungo termine che dà una capacità di auto-configurazione per il sensore distribuito nodi all'interno della rete [1]. Quei nodi sono collegati tramite un collegamento wireless adattivo automatico che è in grado di adattamento automatico alle condizioni ambientali modificando i parametri di sistema. In alcune applicazioni critiche come una missione di salvataggio o ripristino, la distribuzione della rete è istantaneo, il che non lascia tempo per una pianificazione sostanziale. Per questo, Underwater Sensor Networks (UWSN) dovrebbe essere in grado di configurarsi e gestire la posizione del nodo stabilire un ambiente di comunicazione dati efficiente. Inoltre, in caso di guasto del nodo o variazione della condizione del canale, la rete dovrebbe essere in grado di riconfigurarsi per mantenere il suo funzionamento.

Il tipico UWSN è composto da diversi nodi di sensori ancorato al fondo dell'oceano interconnesso in modalità wireless con uno o più gateway sottomarini. I dati vengono solitamente trasmessi all'interno di questa rete di sensori dal fondo alla superficie del mare stazione attraverso percorsi multi-hop. Le porte sottomarine sono i nodi specifici dotati sia di verticale che di orizzontale ricetrasmittitori. Il primo viene utilizzato per inviare comandi e dati di configurazione ai nodi del sensore e ottenere i dati raccolti dati da esso. Il secondo è impiegato per trasmettere il dati itorati alla stazione di superficie del mare. A differenza dell'acqua bassa, la comunicazione verticale è solitamente richiesta per un lungo raggio in acque profonde per ottenere la consegna dei dati verso la stazione di superficie. I modem acustici e radio generalmente equipaggiano quest'ultimo. Il la comunicazione acustica viene utilizzata per eseguire più parallelismi comunicazioni per raccogliere dati dai nodi sensori. Dove la comunicazione radio di solito stabilita con un satellite è impiegato per trasmettere i dati raccolti al pozzo costiero. Differently from [1] dove sono solo i nodi del sensore del fondo oceanico considerato e gli Autonomous Underwater Vehicles (AUV) per trasmettere i dati dal fondo alla superficie. In [2], Sensor i nodi vengono distribuiti in profondità diverse per rilevare il dato nomenon. Questi nodi del sensore utilizzano una boa galleggiante attaccata anche a una stazione di superficie o al fondo dell'oceano per mantenerlo fluttuante alla profondità specifica. La boa galleggiante cambia la sua profondità, di conseguenza il sensore nodo con esso, regolando la lunghezza del cavo che lo trasmette alla superficie o al fondo del mare. Anche se le boe galleggianti garantiscono il facile e veloce distribuzione di rete, costituisce un aspetto vulnerabile di sicurezza grazie alla sua facile rilevazione sulla superficie del mare. Nella prima parte ci siamo concentrati sui componenti acustici subacquee comunicazione a causa della sua importanza nella distribuzione di UWSN ad ampio raggio. In primo luogo diamo una visione del sottosuolo propagazione del segnale acustico da cui dipende fortemente

le proprietà ambientali come salinità, temperatura, pressione e profondità dei ricetrasmittitori. Assorbimento e trasmissione Vengono fornite le formule delle perdite di ioni e Channel Impulse Risposta (CIR). Successivamente, distorsione del segnale variabile nel tempo viene anche spiegato che i documenti più rilevanti nel campo sono citato. A proposito, ne risultano scattering ed effetto Doppler dal movimento dei ricetrasmittitori o dalla mutevolezza ambientale sono enfatizzati. I rumori sott'acqua contribuiscono in modo significativo sui disturbi del segnale acustico se generati dall'uomo e emergenti di rumore naturale sono separate e descritte. A causa di l'energia limitata dei nodi del sensore, soluzione di efficienza energetica sono fornite nella Sezione II-C che mira alla rete aumento della durata. Nodi mobili come Unmanned Underwater Veicolo (UUV) o veicolo subacqueo autonomo (AUV) sono richiesti da UWSN ad ampio raggio per coprire la regione vuota. Inoltre, il GPS terrestre non funziona bene per nodi sor ancorati al fondo dell'oceano. Per questo, i nodi la localizzazione diventa il problema più impegnativo in UWSN, che è dettagliato nella Sezione II-D. Questo studio ha evidenziato il principali problemi che devono affrontare lo strato fisico di Underwater Acoustic Sensor Network, che ha una forte relazione con il MAC e livello di instradamento. Come dovrebbero fare tutti i protocolli proposti occuparsi dell'efficienza energetica per aumentare l'orario di lavoro della rete. A tal fine, il canale acustico dovrebbe essere considerato. Di conseguenza, questo studio aiuta i ricercatori in campo raccogliendo e chiarendo i diversi problemi fisici per sviluppare sofisticati protocolli cross-layer. Successivamente, discuteremo della comunicazione wireless MI, che è un metodo di comunicazione emergente proposto come alternativa tive per varie applicazioni complicate. Come Internet of Underwater Things (IoUT) [3], [4] e Wireless Body Reti di area (WBAN) [5]. La preferenza di utilizzare MI la comunicazione per tali applicazioni è dovuta al limitato interferenza creata tra i ricetrasmittitori. UWSN è stato considerata una promettente rete di sensori per supportare il sviluppo di IoUT [6]. Che è una nuova classe di IoT consentito per sott'acqua. È composto da più sotto-oggetti d'acqua interconnessi tra loro tramite MI o un altro mezzo di comunicazione. Utilizzato per monitorare il vasta area marina inesplorata e consente applicazioni per sviluppo delle città intelligenti [7]. L'acronimo IoUT potrebbe anche descrivere l'Internet of Underground Things [8]. Come il sensori nodi e i ricetrasmittitori sono distribuiti nel sottosuolo per monitorare e rilevare in tempo reale l'area del suolo target. Recentemente, applicazione per il monitoraggio in tempo reale dell'agricoltura il campo è stato aumentato in base a IoUT. L'oggetto principale di questo l'applicazione è migliorare la produzione alimentare attraverso il monitoraggio parametri fisici del suolo come umidità del suolo, acidità (pH), organico e altri [8]. UWSN è una rete eterogenea sin da acustica ibrida sistema di comunicazione potrebbe essere utilizzato per migliorare la rete prestazione lavorativa [9]. Ad esempio, una combinazione di sistemi acustici e ottici è proposto in [10], [11] a ottenere lo streaming video in tempo reale dall'acqua. Pelliccia-thermore, IoUT collega oggetti sottomarini eterogenei come AUV, sensori subacquee ancorati e smart

sottomarino. Inoltre, al fatto di eterogeneo, UWSN è noto per la scarsa diffusione e mobilità delle Nazioni Unite. Come un risultato, UWSN può essere considerato come rete tollerante al ritardo lavoro (DTN) [12]. Alcuni lavori recenti danno un'indagine sull'MI comunicazione [13] - [16], come [13] fornisce un confronto ison of path loss performance of MI, EM, and underwater

comunicazione acustica. Gli autori di [14] modellano una banda larga canale per la comunicazione MI subacquea considerando il perdite di polarizzazione dell'antenna a bobina. Quindi un confronto con i modelli esistenti è fornito. Il documento del sondaggio [15] di La comunicazione MI descrive in dettaglio le sfide affrontate in un ground wireless sensor network e [16] fornisce una panoramica di varie tecniche di comunicazione prospettive per UWSN e gli algoritmi esistenti di clustering basati sull'acustica comunicazione. Il paper è organizzato come segue: Sezione II fornisce informazioni sulle comunicazioni acustiche fornendo una breve discussione sulle proprietà di propagazione acustica e l'efficienza energetica degli UWSN. Oltre a descrivere problemi di localizzazione. La comunicazione magneto-induttiva lo è discusso nella Sezione III descrivendo il diverso percorso MI modelli di perdita e riesame della soluzione proposta di recente per migliorare la capacità del canale e il raggio di comunicazione. Inoltre, alimentazione wireless simultanea e informazioni Viene presentato il trasferimento (SWPIT). Mentre il documento è concluso nella sezione IV.

## II. COMUNICAZIONI ACUSTICHE

### A. PROPAGAZIONE ACUSTICA

#### 1) PERDITA DI TRASMISSIONE

Il canale acustico subacqueo (UAC) è conosciuto come uno di i mezzi di comunicazione più impegnativi attualmente in uso. Il segnale acustico che viaggia tra il trasmettitore e il ricevitore subisce molti meccanismi distruttivi che si attenuano segnali ricevuti. Abbiamo classificato tre tipi di perdite significative come segue, perdita di diffusione, perdita di assorbimento, perdita di dispersione. L'ultimo è discusso separatamente da questa sezione noi in primo luogo introdurre l'assorbimento e la dispersione delle perdite nel perdita di trasmissione ed espressione di attenuazione. Perdita di assorbimento chiamato anche assorbimento viscoso, è il trasferimento di energia del propagazione del segnale in calore a causa della resistenza del fluido al flusso. Diverse formule che descrivono il coefficiente di assorbimento sono dato, ci interessa che considera oceaniche diverse parametri, come frequenza, temperatura, pressione, acidità, e salinità. Per le frequenze ( $100 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ MHz}$ ) il la perdita di assorbimento è data come segue:

$$\alpha = \frac{A_1 P_1 f_1 f_2}{f_2 + f_2} + \frac{A_2 P_2 f_2 f_2}{f_2 + f_2} + A_3 P_3 f_2, \quad (1)$$

dove  $f_1$  e  $f_2$  (in KHz) sono rispettivamente il rilassamento frequenza dell'acido borico e del solfato di magnesio.  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  sono rispettivamente il componente nell'acqua di mare di acido borico, solfato di magnesio e acqua pura.  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$  sono rispettivamente la pressione di profondità nell'acqua di mare dell'acido borico, solfato di magnesio e acqua pura. Questi parametri dettagliano non è lo scopo del nostro studio, fare riferimento a [17] per le loro formule. La formula di Thorp viene utilizzata per calcolare il coefficiente di assorbimento

FIGURA 1. Coefficiente di assorbimento in dB / km.

per frequenze superiori a poche centinaia di Hz come [18]:

$$\alpha = \frac{0,1 f_2}{1 + f_2} + \frac{40 f_2}{4100 + f_2 + 2,75 \times 10^{-4} f_2 + 0,003}. \quad (2)$$

La seguente formula viene utilizzata per calcolare l'assorbimento coefficiente per frequenze inferiori:

$$\alpha = 0,002 + 0,11 \frac{f_2}{1 + f_2 + 0,011 f_2}. \quad (3)$$

La figura 1 mostra che il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  aumenta rapidamente con la frequenza che limita la possibile massima mal frequenza da utilizzare per un collegamento acustico con una data distanza lunghezza. La perdita di trasmissione TL sta cedendo [17] sulla base di Ray teoria, che è la quantità di diminuzione dell'intensità del suono tale poiché il segnale ricevuto è  $SL - TL$ . Dove  $SL$  è la sorgente sonora livello del segnale. Il valore di TL causato dalla perdita di diffusione e l'assorbimento è dato attraverso la seguente formula:

$$TL = k \times \log(r) + \alpha r \times 10^{-3}, \quad (4)$$

dove  $k$  è il fattore di diffusione che rappresenta la perdita di diffusione nella formula TL, il suo valore dipende dalla profondità dell'acqua e descrive la geometria di propagazione. In acque poco profonde,  $k = 1$  corrisponde allo spargimento cilindrico per acque profonde  $k = 2$  corrisponde alla diffusione sferica. Un altro caso in cui  $k = 1.5$ , che è la cosiddetta diffusione pratica, può essere considerata, è mostrato nella Figura 2 che la perdita di trasmissione aumenta con la profondità dei ricetrasmittitori e con la distanza tra loro. Un altro modello è fornito in [19] per caratterizzare la subacquea canale acustico che si basa sulla formula della perdita di percorso che descrive l'attenuazione che si verifica in un unico percorso una distanza  $l$  utilizzando la frequenza del segnale  $f$ , riassume entrambi dispersione e perdite di assorbimento. Quindi, la perdita complessiva del percorso viene calcolato dalla seguente espressione:

$$A(l, f) = (l/l_r)^k \alpha(f)^{l-l_r}, \quad (5)$$

dove  $l_r$  è il riferimento di distanza. Questa espressione mostra il file dipendenza dell'attenuazione del segnale acustico sperimentato in sott'acqua sulla frequenza del segnale e sulla distanza di propagazione.

VOLUME 7, 2019

96881

## Pagina 4

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

dato come segue:

$$H_p(f) = \sqrt[p]{A(l_p, f)}, \quad (7)$$

I percorsi del modello di propagazione multipath agiscono individualmente come filtro passa-basso, in quanto contribuiscono all'impulso complessivo risposta come segue:

$$h(t) = \sum_p h_p(t - \tau_p), \quad (8)$$

dove  $h_p(t)$  è il trasferimento di Fourier inverso di  $H_p(f)$ . Misurazioni condotte nelle acque basse del Mediterraneo le acque mostrano che la distribuzione ombreggiata di  $k$ -mu supera le prestazioni tutti i modelli statistici classici [21]. Questa campagna di la misurazione viene utilizzata per ottenere alcuni canali subacquee ultrasonici nel parametri come l'attenuazione del canale, diffusione Doppler,

FIGURA 2. Perdita di trasmissione rispetto alla distanza di trasmissione per diversi profondità (z).

#### 2) PERDITA MULTIPIO

Nell'ultima sezione abbiamo considerato che il segnale acustico propone

agata su un unico percorso, che non è il caso del reale ambiente sottomarino. In sott'acqua il segnale acustico si propaga su una lunga distanza viene eseguita percorso, ciò è dovuto alla riflessione della superficie e del fondo. Sebbene rifrazione del suono risultante dalla variazione spaziale subacquea capacità di velocità del suono, esistono solo in acque profonde. Dal momento che l'acqua è considerata un mezzo di isovelocità a causa del propagazione costante della velocità del suono. Quest'ultimo è fortemente dipendente ammacatura sulla temperatura, salinità e pressione, che il loro i valori variano con la profondità come mostrato nella seguente formula:

$$c = 1412 + 3,21 T + 1,19 S + 0,0167 z, \quad (6)$$

dove  $S$  è la salinità (in parti / 1000),  $T$  è la temperatura (in °C) e  $z$  è la profondità (in m). Un trasmettitore invia un raggio di raggi; ognuno di loro segue un percorso e un'esperienza diversa riflessione e rifrazione multiple durante la propagazione sott'acqua. Un destinatario posizionato lontano dal mittente riceve multipath ognuno di loro ha un ritardo e una perdita specifici. La considerazione delle perdite multipath è importante per sviluppo di un sofisticato canale acustico. Il ricevente il nodo rileva infiniti echi del segnale a causa della lunga trasmissione gamma di sion e molteplici riflessioni e rifrazioni. Tuttavia, per ottenere solo il numero finito di percorsi significativi, scartiamo i percorsi che hanno sperimentato molteplici riflessioni e perso molta energia. A tal fine, la risposta all'impulso del viene utilizzato un canale acustico; dipende dal canale acustico geometria e sue proprietà di riflessione e rifrazione. Sentiero il ritardo del percorso di propagazione  $p$ -esimo è calcolato da  $\tau_p = l_p / c$  dove  $l_p$  è la  $p$ -esima lunghezza del percorso di propagazione che può essere calcolato utilizzando la geometria del piano.  $c$  è la velocità del suono, considerata costante in acque poco profonde dove la velocità del suono è considerata costante.

Il coefficiente di riflessione cumulativo è dato in [20] è il somma del coefficiente di riflessione subito dal segnale acustico lungo un unico percorso di propagazione, che è indicato con. Sotto le condizioni ideali, il coefficiente di riflessione superficiale è uguale a  $-1$  mentre il coefficiente di riflessione del fondo dipende sul tipo di fondo (duro, morbido). Basato sul cumulativo coefficiente di riflessione, la risposta in frequenza del percorso  $p$ -esimo è

e le statistiche sbiadite. Distorsione del segnale acustico dovuta a la selettività di frequenza non è stata presa in considerazione da autori poiché si sono concentrati sulle applicazioni di telemetria. Il quest'ultimo non richiede un'elevata velocità di trasmissione digitale. Quella permette di considerare la larghezza di banda di trasmissione stretta quanto possibile assumere un canale a frequenza piatta (frequenza libera superflua). Come verrà spiegato nella sezione seguente, la selettività di frequenza potrebbe derivare da perdite multipath e può essere valutato stimando la risposta del canale nel tempo e frequenza. Sistemi di comunicazione acustica subacquea utilizzare ampiamente le bande a bassa frequenza. Quindi attualmente c'è una tendenza a passare dall'audio alle bande ultrasoniche per ottenere il vantaggi di una piccola lunghezza d'onda. Questo è nell'interesse di UWSN poiché permette di avere dispositivi trasmettitori e ricevitori peso e dimensioni più ridotti e funzionano a energia inferiore consumo. Alle frequenze ultrasoniche fenomeni di dissolvenza ena ha un forte impatto sul comportamento del canale, che richiede caratterizzazione precisa per progettare un segnale acustico wireless affidabile tic comunicazione tra i sensori di rete. Dissolvenza o il multipath fading è noto come fluttuazione del ricevuto livello del segnale risultante dalla variazione del tempo. Questa fluttuazione può anche influenzare la linea di vista (LOS) (Figura 3) nent, denominato shadowing. Quindi, il fading nomenon viene valutato sulla base di modelli statistici, dove ogni modello corrisponde a un'ipotesi di ray tracing. Ad esempio le tre principali ipotesi considerate sulla modalità di dissolvenza eling sono: (1) l'esistenza o meno di una componente LOS; (2) il comportamento deterministico o casuale della componente LOS; e (3) la possibilità che il segnale viaggi attraverso differenti cluster di onde multipath. Una rassegna della dissolvenza primaria modello per UAC è dato in [21]. Come l'attributo principale di questi modelli è la loro capacità di adattare i dati sperimentali.

A differenza dei lavori esistenti spiegati nella sottosezione che mirano alla modellizzazione del canale acustico. L'attenuazione il fenomeno del segnale trasmesso compare anche sul livello di rumore poiché la sua distribuzione nello spazio sottomarino non è uniforme. Ciò significa che l'impatto del rumore non è simile in dintorni sott'acqua. Questo fenomeno appare in acque profonde poiché la maggior parte dei rumori si verificano in mare superficie come la navigazione, il vento, la termica e la turbolenza.

96882

VOLUME 7, 2019

## Pagina 5

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

FIGURA 3. Modello di propagazione acustica subacquea.

La soluzione proposta in [22] per superare questo problema è per dividere lo spazio bersaglio subacqueo in più strati per quanto riguarda la potenza del segnale e il livello di rumore nella dissolvenza pacchetto di dati. L'approccio ARQ si basa su quello del ricevente feedback, con conseguente degrado dell'efficienza del throughput a causa del lungo ritardo di propagazione. Nell'approccio FEC, il tasso di errore di bit viene rilevato e corretto utilizzando ridondante informazioni aggiunte al pacchetto di dati, che non richiede risposta. È consigliato per UAC con larghezza di banda ridotta, lungo ritardo di propagazione e veloce variazione nel tempo per utilizzare la FEC schemi per correggere l'errore di bit. Sebbene FEC sia principalmente utilizzato per UAC, in [25] è combinato con un equalizzatore turbo mentre mostrato, il canale acustico subacqueo è doppiamente diffuso

Request (ARQ) e Forward Error Correction (FEC). Questi approcci mirano a correggere l'errore di bit tra i trasmessi pacchetto di dati. L'approccio ARQ si basa su quello del ricevente feedback, con conseguente degrado dell'efficienza del throughput a causa del lungo ritardo di propagazione. Nell'approccio FEC, il tasso di errore di bit viene rilevato e corretto utilizzando ridondante informazioni aggiunte al pacchetto di dati, che non richiede risposta. È consigliato per UAC con larghezza di banda ridotta, lungo ritardo di propagazione e veloce variazione nel tempo per utilizzare la FEC schemi per correggere l'errore di bit. Sebbene FEC sia principalmente utilizzato per UAC, in [25] è combinato con un equalizzatore turbo mentre mostrato, il canale acustico subacqueo è doppiamente diffuso

poiché il segnale trasmesso incorre sia nella frequenza che nel tempo dispersione. La dispersione di frequenza risulta dai multi-phenomeni di propagazione del percorso e risultato della dispersione temporale dalla scala del segnale a causa dei cambiamenti dinamici dello stato del mare. Il tempo di scala è correlato al fattore Mach, che è dato da  $a_p = v / c$  rappresenta la velocità relativa del trasmettitore e ricevitore considerando la velocità del suono. Quindi, il canale risposta in frequenza è variante temporale, mentre l'impulso del canale risposta (CIR) è composta da più percorsi del segnale di arrivo. Ognuno è caratterizzato dalla sua ampiezza  $h_p$  e dal ritardo del percorso  $\tau_p$ . L'UAC è considerato a banda larga dal momento che il segnale la larghezza di banda è del 20% maggiore della frequenza portante. Sul lato ricevitore, l'ampiezza del canale variante temporale alla frequenza  $f$  è calcolato come la somma del percorso di arrivo  $p$ :

$$H(f, t) = \sum_p h_p e^{j2\pi f \tau_p} e^{-j2\pi a_p(t) f t}, \quad (9)$$

dove  $h_p e^{j2\pi f \tau_p} e^{-j2\pi a_p(t) f t}$  rappresenta la rotazione di fase di il segnale ricevuto alla frequenza  $f$ . L'uso di un lungo il rumore pseudocasuale (PN) è necessario per estrarre il CIR in formato al fine di garantire un sistema di comunicazione affidabile. Sebbene La PN viene trasmessa per mantenere un SNR elevato invece di aumentare la potenza di trasmissione che è limitata dal non linearity del front-end e utilizzato per migliorare la stima CIR.

Un'altra visione del canale acustico subacqueo con perdite nel (UAC) mostra frequenti perdite di pacchetti durante la trasmissione dei dati missione; quindi, una soluzione a livello di pacchetto è proposta in [24] per migliorare l'affidabilità della trasmissione. A tal fine, di base vengono utilizzati approcci, come la ripetizione automatica

adattato e ottimizzato utilizzando dati unici basati su fontane schema di trasmissione per migliorare l'affidabilità della trasmissione UAC.

## B. PROPAGAZIONE ACUSTICA SUBACQUEA DINAMICA

### 1) DISTORSIONE VARIAZIONE NEL TEMPO

La variabilità temporale del canale UAC può essere guidata principalmente da due fonti: la mutevolezza temporale nella prop-ambiente di agazione e movimento delle piattaforme ricetrasmittenti. Le condizioni ambientali che determinano questi cambiamenti danno origine a diverse scale temporali segnalano le fluttuazioni. Alcuni cambiamenti si verificano su un lungo lasso di tempo che non ha alcun impatto sul segnali di comunicazione (ad esempio, variazioni stagionali della temperatura). Altri accadono in un breve lasso di tempo che influisce sulla comunicazione segnali cationici. Questi ultimi cambiamenti sono indotti dall'interno onde, onde turbolente della nave, migrazione dei pesci, vortici, altro fenomeni e deflussi di fiumi. Di conseguenza, punto di riflessione lo spostamento genera la diffusione del segnale e la diffusione Doppler a causa della fluttuazione della lunghezza del percorso.

Gli autori in [27] riconoscono il multipath variabile nel tempo arrivi come autostrada. Dove si compone la sua modulazione di due fasi per ogni percorso automatico: ritardo del percorso variabile nel tempo che si verificano a seguito del movimento del ricetrasmittitore a causa di onde dom e corrente e ampiezza variabile nel tempo. Due i fenomeni creano quest'ultimo: perdita di trasmissione e dissolvenza. Fenomeno di perdita di trasmissione come descritto in precedenza riguarda il deterioramento dell'intensità del segnale come conseguenza di perdite per diffusione, assorbimento e riflessione [19], [28]. Fad-L'ing è generalmente causato dalla sovrapposizione di più

VOLUME 7, 2019

96883

## Pagina 6

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

segnali trasmessi all'interno di un percorso automatico con un diverso ritardo [28]. Infatti il segnale ricevuto può essere dato come:

$$y(t) = \sum_p h_p(t) s(\alpha_p(t - \tau_p(t))), \quad (10)$$

dove  $h_p(t)$  è l'ampiezza variabile nel tempo,  $\tau_p(t)$  è il ritardo variabile nel tempo e  $\alpha_p$  è la scala temporale variabile nel tempo fattore del percorso  $p$ -esimo. L'ultimo parametro viene calcolato utilizzando la  $p$ -esima distanza percorsa  $r_p(t)$  che è divisa per velocità subacquea di propagazione del suono:

$$\tau_p(t) = \frac{r_p(t)}{c_w}. \quad (11)$$

Il modello UAC può designare il canale di propagazione nel modello presentato in [17], [18] o può denotare la modulazione matematica dell'impulso del canale risposta [19], [21], [24]. Questi modelli sono utilizzati in simulazioni di canali d'acqua, simulazioni di protocolli di rete zione o schemi di modulazione. Sebbene i modelli convenzionali sono sviluppati per banda stretta, i suoi difetti sono analyzed in [29] attraverso la simulazione e le misurazioni canalizzato in un ambiente fiordo. Queste sono le carenze presentato dai tassi di fluttuazione dipendenti dalla frequenza e attenuazione dipendente dalla frequenza risultante da caratteristica variabile nel tempo proprio dalla piattaforma movimento. Tuttavia, è difficile modellare un UAC a causa di varietà di canali acustici mostrati in [30].

L'effetto di diffusione che prende parte alla propagazione le perdite si verificano quando il segnale trasmesso viene reindirizzato da interagire con un oggetto marino. Superficie del mare, fondale marino o Le bolle possono essere le fonti del fenomeno di scattering. Se- I lavori erali hanno indagato sulla dispersione causata dal superficie del mare in movimento, dove si sono distinti due tipi, superficie del mare agitata e calma [31]. Nel caso del liscio superficie del mare, ogni percorso sparso induce un singolo arrivo in risposta all'impulso risultante in un impulso di canale inadeguato risposta. Al contrario, quando la superficie del mare diventa più la diffusione dinamica e grossolana del ritardo si unisce alla

modelli con pennacchio di bolle [36], [37]. I risultati di [35] lo mostrano per forti venti, l'impatto delle bolle sulla trasmissione la perdita di sione aumenta mentre l'attenuazione dell'acustica il segnale è dominato dalla dispersione risultante dalla bolla pennacchi piuttosto che la superficie del mare. L'autore in [38] si espande il loro modello [35] considerando i tipi di pennacchi a bolle e ha scoperto che i pennacchi  $\beta$  contribuiscono maggiormente all'attenuazione di  $\alpha$ -pennacchi. Misurazione condotta in [39] da vicino alla superficie bolle per la gamma di frequenza 1-20 KHz rivelano una dipendenza dency di frequenza, angolo di pascolo e velocità del vento in attenuazione del segnale. È mostrato in [40] quello per la frequenza range 1-4 KHz, l'effetto delle bolle sulla perdita della superficie del mare è limitato alla rifrazione. Mentre la rifrazione e l'estinzione delle bolle zione contribuiscono congiuntamente alla perdita della superficie del mare per la frequenza gamma di 4-8 KHz. Bolla vicino alla superficie generata dal vento ha un impatto sulla forza di retrodiffusione della superficie in frequenza 940 Hz [41]. L'impatto della cortina di bolle (che è un muro di bolle Figura 4 ) sul canale UWC è valutato in [42]. Segnali trasmessi che passano attraverso questo il muro subisce modifiche significative sul percorso del segnale e Tipath struttura. Sebbene le bolle si disperdano in modo significativo influenza la comunicazione UnderWater Acoustic (UWA), quelli risultanti da eventi episodici come potrebbe fare una nave di passaggio essere ignorato a causa del suo impatto a breve termine. Bolle persistenti l'impatto è discusso in [43]. Questo tipo di bolle generate dalle onde superficiali potrebbe avere un impatto benigno sull'acustica comunicazione tic con una velocità e un segnale del vento specifici frequenze [44]. Due fenomeni caratterizzano principalmente l'UAC: propagazione multipath che causa un lungo ritardo e un'ampia diffusione Doppler [45]. Anche quest'ultimo risulta dal movimento relativo del trasmettitore / ricevitore o la dinamica del mezzo di propagazione [19], [46], [47]. Autori in [45] sottolinea l'importanza della modulazione dell'effetto Doppler elizzazione per l'UAC e classificare i modelli esistenti in quattro categorie: il modello quasi statico, lo spostamento Doppler uniforme modello, il modello di espansione di base e la velocità del percorso uniforme modelli e la velocità del percorso non uniforme recentemente sviluppata modello. L'effetto Doppler appare in modo diverso per la banda larga

fluttuazione nel tempo, con conseguente impulso meno scarso risposta. L'impatto della distribuzione dei diffusori sull'angolo Of-Departure (AOD) e l'angolo di arrivo (AOA) è introdotto nel modello di canale basato sulla geometria stocastica sviluppato per SISO (Single-Input Single-Output) a banda larga UAC [32]. Gli autori in [32] considerano una distribuzione casuale di Scatterers e condizioni ruvide della superficie e del fondo oceano. Un nuovo modello di canale basato sulla geometria emerge [33] per UAC poco profonde in cui il fondo oceanico è inclinato sidered. È dimostrato che anche un piccolo fondo inclinato ha un impatto significativo sulle proprietà statistiche delle UAC.

Strato di bolle generato dalle onde che si infrangono influenza cantly i segnali trasmessi [34] alterando il velocità del segnale, che influisce sulla perdita di trasmissione durante il propagazione e diffusione dei segnali. Contrariamente all'esistente Modelli UAC, la combinazione di rumore oceanico ambientale e i rumori delle bolle sono considerati in [34]. La superficie del mare è agitata considerato nel modello [35] utilizzando l'equazione parabolica e

e sistemi UWA a banda stretta. A causa della banda larga erty Doppler influenza in modo diverso l'UAC per quanto riguarda le sue frequenze, mentre è costante per il sistema a banda stretta tem. Attualmente sono disponibili diversi metodi di stima Doppler suggerito per l'UAC per mitigare l'impatto del Doppler effetto sul segnale trasmesso. Due approcci popolari sono le più utilizzate: la funzione di cross-ambiguity (CAF) e il autocorrelazione a ramo singolo (SBA). Un'auto multi-ramo il metodo di correlazione (MBA) è proposto in [48] per Doppler stima in UAC, che può essere utilizzata nel pilota periodico segnali. Lo stimatore dello sfasamento Doppler presentato in [49] è composto da due fasi dello stimatore: stima grossolana e precisa mator, dove il valore stimato dell'algoritmo preciso è più accurato dell'algoritmo grossolano. Il grossolano valore dell'effetto scala Doppler può essere stimato utilizzando il Trasformata Chirp-Z (CZT) e compensata dall'impiego il metodo di ricampionamento del filtro polifase [50]. Parecchi i lavori propongono la stima simultanea dell'effetto Doppler e

96884

VOLUME 7, 2019

## Pagina 7

M. Jouhari *et al.* : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

FIGURA 4. Esempio di comunicazione acustica subacquea con tenda a bolle.

sincronizzazione [51] - [54], che è un compito essenziale per migliorare la comunicazione UWA. Questo compito è stato raggiunto in [51] applicando auto-correlazioni bidimensionali a i segnali ricevuti. Quindi pseudo- dominio della doppia frequenza il rumore casuale viene utilizzato come sequenze di addestramento. Differire- Infine, vengono utilizzate due sequenze Zadoff-Chu (ZC) coniugate nelle sequenze di addestramento per aiutare nella stima del fattore di scala Doppler, mazione, offset della frequenza portante e ritardo di propagazione stime [52]. Queste attività vengono eseguite applicando una cross-correlazione bidimensionale e due auto-correlazioni operazioni sui segnali ricevuti. Mentre l'iperbolico i segnali di modulazione di frequenza (HFM) sono usati in [53], [55]. Si evita l'inutile consumo di banda OFDM utilizzando la sottoportante centrale come pilota di frequenza portante invece del preambolo aggiuntivo incluso in ogni OFDM cornice [54]. In [56] gli autori propongono uno spettro Doppler modello utilizzando la somma della forma Spike e del Componenti dello spettro di forma gaussiana. Come il primo viene utilizzato per la componente Doppler risultante da Tx / Rx movimento mentre il secondo è per il risultato della componente Doppler dal movimento della superficie del mare. Per disabilitare il file Effetto Doppler sul ricevitore OFDM, un resam variabile nel tempo la tecnica del pling è usata in [57] per compensare il suo impatto a ogni frame OFDM ricevuto. Un confronto tra diversi metodi ods della stima in scala Doppler utilizzando il prefisso ciclico (CP) o zero padded (ZP) a divisione di frequenza ortogonale multipla forme d'onda time-division multiplexing (OFDM) sono fornite in [58].

### 2) RUMORE ACUSTICO SUBACQUEO

Negli ultimi tre decenni, gli oceani hanno conosciuto un continuo aumento delle attività umane in particolare del traffico marittimo che provoca un notevole inquinamento acustico subacqueo. Questo rumore è cruciale per la caratterizzazione dei canali acustici per comunicazione. Diversi lavori si sono concentrati sulla pubblicazione

sono considerate diverse classi di navi, come le navi da pesca sel, un peschereccio da ricerca e una nave mercantile. Il sotto il rumore acustico dell'acqua può essere distinto in due categorie: rumore sito-specifico e rumore ambientale [60]. La prima categoria è il rumore che dipende dalla localizzazione geografica come quelli risultante dalla rottura del ghiaccio e delle creature marine. Il secondo categoria include rumori come turbolenza, navigazione, onde, e termica.

Le caratteristiche statistiche del canale acustico influenzare fortemente le prestazioni della comunicazione subacquea sistemi cationici; pertanto, la maggior parte dei ricevitori di oggi consider il rumore gaussiano. Poiché è il miglior strumento statistico considerato in letteratura per approssimare il cumulativo effetto del rumore derivante da sorgenti diverse. In tal senso, alcuni lavori [61] hanno riscontrato che le sorgenti di rumore non sono sempre contribuendo simultaneamente al rumore totale del canale per un banda di frequenza operativa. Invece, solo una o poche fonti dominano la funzione di densità di probabilità complessiva (pdf) [30]. Le molteplici sorgenti di rumore esistenti in acque poco profonde influiscono la comunicazione acustica subacquea, che rende il utilizzo di modelli di rumore gaussiani tradizionali inadatti. Da i ricevitori progettati con tale modello di rumore non funzionano bene in presenza di un rumore non gaussiano sul canale. Per questo più modelli di rumore non gaussiano sono suggeriti, la più popolare è la distribuzione Gaussian Mixture (GM) che trae il suo potere dall' "approssimazione universale" proprietà [62]. Gli autori in questo seguito forniscono un'analisi dettagliata analisi ical delle prestazioni di errore di un computer subacqueo sistema di comunicazione considerando il rumore del canale acustico GM. Piuttosto che assumere il naso del canale acustico subacqueo come additivo Gaussian bianco Autori in [63] considerano colorato nodo del canale non gaussiano. Il modello sperimentale, pre-inviato in questo documento attraverso misurazioni effettuate da profondità diverse in acque poco profonde, mostra che la potenza diminuisce



set di dati e analisi spettrale per indagare l'impatto sullo spettro acustico. Gli autori in [59] mirano allo sfruttamento delle impostazioni dell'elica a passo controllabile e dell'ent dipendenze dal rumore irradiato dall'analisi spettrale di rumore sottomarino generato dalle navi. Sebbene a banda stretta contribuiti, l'analisi del rumore a banda larga è studiata in la banda di frequenza compresa tra 100 Hz e 4 kHz. Anche,

aumentando la profondità.

Si distinguono anche le sorgenti di rumore acustico subacqueo dal loro impatto sulla vita marina. Come lo sono due categorie riconosciute: fonti naturali e antropiche. Per naturale fonti, gli animali marini conoscono già la loro esistenza nell'ambiente e può essere facilmente adattato ad esso. Tra loro, abbiamo trovato sorgenti come onde, pioggia e sismiche, quali

VOLUME 7, 2019

96885

## Pagina 8

M. Jouhari *et al.* : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

FIGURA 5. L'impatto del rumore acustico generato dall'uomo sulla vita marina.

sono caratterizzati da un'elevata potenza e utilizzano la stessa frequenza banda come animali marini. Questo potrebbe creare difficoltà in la stima della distanza e la comunicazione tra questi animali. L'altra categoria è nota per il suo forte impatto sugli animali marini poiché è generato dall'uomo, ad es. sonar sistemi, spedizioni, esplosioni, ecc. (Figura 5 ). Quelli i rumori sono difficili da distinguere dai rumori naturali che creano collisioni accidentali tra animali e massa spiaggiamenti. Inoltre, il comportamento dell'animale è alterato a causa di il secondo tipo di rumore, portandoli a perdere alcuni importanti rumori importanti che causano la perdita dell'udito temporanea o permanente e danni ai tessuti. Di conseguenza, gli studi come [64] hanno saputo grande interesse da parte della comunità scientifica per indagare sul impatto dei suoni generati dall'uomo e naturali sul mare vita, soprattutto mammiferi marini. A tal fine, così come a regolare le attività civili o militari come statistiche marittime caratteristiche cal e distribuzione spaziale delle sorgenti di rumore dovrebbe essere riconosciuto. Il processo che consente quest'ultimo è chiamato profilazione, che si ottiene tramite separazione, classificazione e analisi statistica delle sorgenti di rumore dominanti i rumori ambientali. Il profilo della sorgente di rumore ha un aspetto positivo impatto sul sistema di comunicazione acustica sottomarino, principalmente quando si opera in un ambiente difficile. Rumori e le interferenze che si verificano in tale ambiente riducono il segnale prestazioni di rilevamento del sistema di comunicazione ulteriormente, la distribuzione sconosciuta del rumore rende questo problema ancor più difficile da compensare.

Gli autori di [65] impiegano il Blind Source Separation (BSS) sul loro schema proposto intitolato Underwater Noise Inspection, separazione e classificazione (UNISec). Questo schema è in grado di eseguire analisi di rumore pre e post-elaborazione per l'ambiente tridimensionale multipath sottomarino. Si occupa della fuga di informazioni sulle sorgenti di rumore e se ne occupa con contaminazione acustica attraverso la stima del rumore fonti così come la loro caratterizzazione e classificazione utilizzando un metodo di sondaggio pilotato ricorsivo.

### C. EFFICIENZA ENERGETICA

I sensori degli UWSN sono per lo più alimentati a batteria, ovvero caratterizzato dalla sua energia limitata, conoscendo quella batteria la sostituzione o la ricarica non è utile nel duro e zona lontana. Per questo, risparmiare energia per aumentare la rete la durata sta diventando l'occupazione principale del sistema UWSN temi. A tal fine vengono proposte diverse soluzioni. Ritardo UWSN vincolato è considerato in [66] per minimizzare il consumo di energia per bit impedendo le ritrasmissioni. Modulazione FSK (Frequency-Shift Keying) binaria non coerente ulazione e codifica convoluzionale vengono utilizzate per dimostrare che il file la scelta di una velocità di codifica adeguata potrebbe diminuire l'energia consumo per boccone nel rispetto del target massimo tasso di errore del frame. Rotta ad alta efficienza energetica con vincoli di ritardo ing (DER) è suggerito in [67] per UWSN-based comunicazione utilizzando il framework di ottimizzazione basato su Programmazione lineare mista intera, che putes ritarda le rotte vincolate per UWSN basato su TDMA. DCR trova impiego nelle applicazioni UWSN critiche in termini di tempo. Sebbene l'efficienza energetica potrebbe essere raggiunta ottimizzando il ritardo alla fine, che si ottiene scegliendo il minimo hop routing. Questa soluzione non aumenta necessariamente la rete vita lavorativa a causa dell'eccessivo consumo di energia in lungo collegamenti. Pertanto, vengono scelti percorsi energetici efficienti relativamente brevi per la massimizzazione della durata della rete che implica l'uso di alto numero di luppoli. Per far fronte a questo paradosso, un compromesso tra la massimizzazione della durata della rete e la fine la minimizzazione del ritardo alla fine è proposta in [68] usando multi-modello di ottimizzazione degli obiettivi. In questo senso, viene mostrato lo studio [69] da cui il risparmio energetico viene eseguito in modo efficiente ottimizzando congiuntamente il numero di salti, ritrasmissioni, codice velocità e rapporto segnale / rumore per la distanza di collegamento data. Vengono analizzati due scenari con frame limitato o illimitato ritrasmissioni per ritardo vincolato e non vincolato collegamenti. Questo studio indica che per i collegamenti lunghi, l'ottimizzazione L'azione del numero di luppolo ha un grande impatto sull'energia

96886

VOLUME 7, 2019



FIGURA 6. Lunghezza del collegamento acustico di un salto rispetto alla potenza di trasmissione.



FIGURA 7. Lunghezza del collegamento acustico one-hop rispetto al guadagno del canale.

consumo per bit mentre non è quando si aumenta il numero di ritrasmissione consentita. Fare riferimento alle Figure 6 e 7 tracciate utilizzando il simulatore di canale acustico proposto in [70] da Milica Stojanovic, mostrano rispettivamente il guadagno medio del canale di un salto menomazione e potenza di trasmissione richiesta in funzione di distanza. Un altro modo per risparmiare energia negli UWSN è distribuire in modalità cluster, dove è responsabile la testa del cluster per la fusione e l'inoltro di dati provenienti da molteplici nodi. Questo metodo consente di risparmiare energia al contrario quando ogni nodo inoltra separatamente i propri dati. La selezione di Cluster Head (CH) Pertanto, i metodi utilizzati potrebbero comportare un maggiore risparmio energetico, aumentare la durata dei nodi di rete. Il residuo CH l'energia e la distanza dal pozzo sono considerate in [71] a determinare il CH dei candidati in una gerarchia multi-livello Rete. L'efficienza energetica dell'aggregazione dei dati può contribuire estendere l'orario di lavoro dell'UWSN. Un modello progettato per questo fine in [72] sviluppato attraverso il compresso distribuito teoria del sensing (DCS) [73] per UWSN basata su cluster. Altro-saggio, il punto caldo che appare durante la comunicazione di rete catione potrebbe ridurre il suo tempo di lavoro [74]. Questi punti caldi sono composti da nodi usati di frequente che drenano rapidamente la loro energia e muoiono presto. Ciò porterà a perdere la rete connettività, riducendo di conseguenza la durata della rete. Per superare questo problema, una soluzione di ottimizzazione cross-layer bilanciare equamente il consumo di energia tra i nodi è suggerito in [75], dove il programma di collegamento, trasmissione

potenze e velocità di trasmissione sono ottimizzate congiuntamente. Energia la raccolta è una potente alternativa per ricaricare la batteria delle Nazioni Unite, che porta al prolungamento della vita della rete. Questo l'energia può essere acquisita sia dal sole, dal vento o dalle onde di marea. Altrimenti, questa tecnica affronta serie sfide che fanno sporadico e imprevedibile. Pertanto, l'energia della batteria gestisce è una questione cruciale da garantire. Gli autori in [76] suggeriscono a modello basato su un approccio di programmazione dinamica stocastica per ottimizzare l'allocazione dell'energia per il rilevamento, la raccolta dei dati, e trasmissione dati. Questa ottimizzazione si traduce in alloca-politiche che assicurano il numero mirato di successo ha consegnato i pacchetti in un intervallo di tempo finito considerando entrambi il buffer overflow e i vincoli di capacità energetica. Due i livelli di conoscenza dello stato del canale sono considerati ritardati e feedback CSI (Channel State Information) non ritardati. Si propone la raccolta dei dati basata sul mobile sink (MS) in [77] per superare il problema del quartiere sink per estensione della vita della rete. Il problema del vicinato del lavandino chiamato anche problema hot spot appare nel sink statico basato raccolta dati.

I protocolli di instradamento possono anche ottimizzare il consumo di energia per bit scegliendo il percorso ottimale del pacchetto verso essere consegnato con successo entro un ritardo ottimale, che porta ad un aumento dell'orario di lavoro della rete. Alcuni le opere sono proposte nello stesso senso [78], [79]. In [78] a protocollo di instradamento basato su una catena ad alta efficienza energetica dove l'intera area sottomarina è divisa in più Tiple regioni che vengono assunte come un cluster. Il raccolto i dati vengono comunicati tra le sottoregioni tramite il cluster head e Relay Node (RN) cooperano con gli altri nodi per fornire i dati all'header del cluster. Per impedire il pacchetto di dati ridondanza, un pacchetto di controllo viene trasmesso utilizzando i dati memorizzati in CH e RN. Inoltre, la strategia elettorale della RN è considerato. Il protocollo di instradamento suggerito in [79] intendeva farlo superare il problema delle ferie energetiche distribuendo il file carico di trasmissione tra tutti i nodi del sensore; si presume che tutti questi nodi possono controllare la loro potenza di trasmissione per adattarsi l'energia consumata per trasmettere o inoltrare la raccolta dati ereditati. In effetti, il guadagno del canale variabile nel tempo è caratterizzante il canale sottomarino viene preso in considerazione da questo protocollo di instradamento. Problemi di traino basati su Mobile Sink (MS) è coinvolta la massimizzazione della durata della rete di raccolta dati in [80]: il problema dello scheduling e del routing. Il primo riguarda la determinazione del periodo di soggiorno appropriato di gli Stati membri in posizioni specifiche per la raccolta dei dati. Il sec-ond riguarda l'utilizzo del percorso ottimale per i dati raccolti trasmissione che garantisce efficienza energetica.

#### D. LOCALIZZAZIONE NELLE UWSNS

Le potenziali applicazioni di UWSN richiedono l'uso di Unmanned Underwater Vehicle (UUV) che offre l'aspetto della mobilità di la rete per svolgere bene l'attività di raccolta dei dati. Questi i veicoli sono noti anche come droni sottomarini sono divisi in due categorie: Veicoli subacquee telecomandati cles (ROV) che sono controllati dal sink di superficie o la nave utilizzando l'operatore umano remoto e autonomo

TABELLA 1. Confronto tra diverse tecniche di comunicazione subacquee.



Veicoli subacquee (AUV) che operano in modo autonomo utilizzando un insieme predefinito di regole e istruzioni per navigare in acque profonde senza la necessità del controllo umano diretto. Per semplicità, quest'ultima categoria è chiamata dai subacquei nodi mobili dotati di modem acustici per comunicazione e sensori per la raccolta dei dati. Perciò, i nodi mobili devono essere localizzati accuratamente per aumentare l'accuratezza della raccolta dei dati e mantenere la conoscenza bordo dell'intera topologia di rete. Il posizionamento globale Il sistema (GPS) proposto per i WSN non funziona bene per localizzazione subacquea profonda a causa di gravi danni alla radiofrequenza in questo ambiente.

Nel frattempo viene proposto un sistema GPS per la subacquea in [81] per ottenere le informazioni precise sulla posizione del cellulare oggetti sott'acqua. Questo sistema include GIB (GPS Intelligent Buoys) [82] e PARADIGM [83] che si basano su boe galleggianti che fungono da GPS comune da fornire l'informazione di posizione assoluta dei nodi del sensore individuati nel loro raggio di comunicazione. Questa localizzazione è ottenuta in base alla distanza tra i nodi data attraverso il Tempo Differenza di arrivo (TDoA) o ora di arrivo (ToA). Un catrame ottenere la localizzazione del nodo può essere ottenuto mediante triangolazione stimando la sua posizione alle boe galleggianti. Le questioni aperte della localizzazione UWSN attraggono molti ricercatori. Autori in [84] ha proposto l'uso del filtro di Kalman per la traiettoria stima, quindi viene studiata una varietà di questo filtro analizzare i loro risultati. Vengono presentate le varietà interessate dai seguenti modelli non lineari: Extended Kalman Filter (EKF), filtro di Kalman inodore e differenza centrale Filtro Kalman. Invece di usare il GIB, alcune localizzazioni i metodi si basano sui nodi di ancoraggio per fornire la posizione esatta di nodi mobili, dove questi ancoraggi sono nodi sottomarini fissato in una posizione nota. Il filtro di Kalman è utilizzato in [85] a allineare le distanze tra ancoraggi e nodi mobili basati sulla marca temporale scambiata periodicamente tra loro; quindi, un ritardo è stimato con precisione.

Il concetto di grafi probabilistici è enfatizzato in [86] dove tutti i nodi della rete collaborano in questo modo riuscire nella localizzazione di un nodo di destinazione. Per questo, una matematica accurata di zione per la rete acustica sottomarina multi-hop formulazione ematica del problema di localizzazione probabilistica lem (P-LOC) viene calcolato tramite un algoritmo iterativo che è utile per un calcolo del limite inferiore sulla soluzione esatta. Il lavoro in [87] migliora il successivo algoritmo abilitando la corsa sul tempo polinomiale. Dove è suddiviso il grafico

uno speciale grafo  $k$ -tree, come il problema P-LOC essere risolto in tempo polinomiale per ogni  $k \geq 1$ . Autori in [88] indagare l'impatto del ritardo MAC e la mobilità dei nodi sulla precisione della localizzazione. Si verifica il ritardo MAC quando i nodi di ancoraggio comunicano tra loro attraverso il protocollo MAC per evitare la collisione dei pacchetti. Questi ancora i nodi che conoscono la loro posizione trasmettono i pacchetti al nodo mobile mirando alla sua localizzazione. Ritardo MAC unito alla mobilità l'impatto può influire sulle prestazioni di localizzazione. Lo studio ha canalizzato su [88] rivela che la combinazione di spostamento rapido del nodo e un ritardo MAC più lungo si traduce in un grande errore di localizzazione. Per far fronte a questo problema, un metodo di localizzazione combinato con sistema di accesso multiplo viene proposto. Questa combinazione è assicurato abilitando la trasmissione simultanea all'ancoraggio nodi attraverso l'uso di entrambi i multipli di divisione di frequenza accesso (FDMA) e modulazione di frequenza iperbolica (HFM) segnale.

Il numero di nodi di ancoraggio è considerato nel locale metodo di izzazione proposto in [89]. Come solo pochi ancora i nodi vengono utilizzati per stimare la distanza euclidea tra nodi. La posizione di quei nodi è ottenuta da un ponderato metodo dei minimi quadrati. Sebbene possano essere utilizzati diversi metodi per misurare la distanza dai nodi di ancoraggio compreso il tempo of Arrival (ToA), Time Difference of Arrival (TDoA) e Indicatore di potenza del segnale ricevuto (RSSI), autori in [89] utilizzare l'angolo di arrivo (AoA) per stimare l'euclideo distanza tra sensore e nodi di ancoraggio. La proposta metodo appartiene alla categoria degli schemi basati su intervalli, dove il processo di localizzazione del nodo è suddiviso in tre fasi: stima della distanza, stima della posizione e perfezionamento. Come è mostrato in precedenza, la localizzazione è un grave problema per i reti acustiche idriche, che si dividono in due categorie: l'auto-localizzazione e la localizzazione della sorgente. Normalmente, i protocolli di instradamento e le applicazioni di rilevamento si eseguono zione delle informazioni di auto-localizzazione, come ogni sensore i nodi sono in grado di ottenere la sua posizione individualmente. Un doppio Rate Self Localization Algorithm (DRL) è proposto in [90], che riduce i nodi di ancoraggio richiesti e aumenta la localizzazione accuratezza di zione per la rete acustica sottomarina multi-hop. Lo schema DRL è suddiviso in due processi di localizzazione modalità. Una modalità di trasmissione a bassa velocità e ad alta velocità sono suggerite gestite per consentire l'utilizzo della tariffa adeguata che garantisce la velocità di trasmissione e aumenta la precisione della misurazione nella rete. Inoltre, l'influenza dei riferimenti

96888

VOLUME 7, 2019

## Pagina 11

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

topologia sulla localizzazione la precisione è ridotta utilizzando algoritmo di selezione del riferimento mal. Sebbene quest'ultimo schema funziona bene per garantire un'eccellente precisione di localizzazione utilizzando solo un nodo di ancoraggio ma è limitato poiché solo il movimento-vengono considerati meno nodi.

La localizzazione della sorgente trova uso nelle applicazioni di esplorazione sulla natura compresa la localizzazione di mammiferi marini o veicoli subacquee. In queste applicazioni, la posizione è stimato attraverso il segnale acustico emesso dai nodi target, il che non è sempre certo da dove venga il bisogno dell'ancora nodi. Quei ricevitori dovrebbero essere schierati sott'acqua inferiore per coprire un'ampia area per garantire il rilevamento del bersaglio e la localizzazione, che non è utile in uno scenario reale. Mentre la maggior parte degli schemi di localizzazione proposti richiedono l'uso di nodi di ancoraggio per stimare la posizione di un acustico sommerso

rete wireless sottomarina. Prendiamo l'esempio di rete sottomarina, che è al centro di questo studio. Il la propagazione sull'acqua è diversa dalla propagazione sopra l'aria perché l'acqua ha un'elevata permeabilità ed elettricità conduttività e onda piana si attenuano notevolmente in acqua rispetto a l'aria, questo aumenta rapidamente con la frequenza. MI sovraperforma Acustico ed EM in questo punto, si comporta bene senza preoccuparsi sulla natura media (ad esempio, acqua o aria), dipende solo sulla conducibilità e sulla permeabilità magnetica del medio (la Tabella 1 riassume la differenza tra MI, EM, e comunicazioni acustiche subacquee). La tabella 2 mostra permeabilità magnetica per ogni mezzo. Considerando che, gli autori in [13] si consideri la permeabilità dell'acqua e dell'aria pari.

Il ritardo di propagazione delle onde MI è enormemente inferiore

fonte [91], gli autori in [92] hanno proposto una localizzazione senza metodo di azione. Nel loro lavoro, il CIR del segnale ricevuto è modellato per più posizioni possibili utilizzando la batimetria informazione. Il segnale può provenire sia dai clic di delfini, ping periodici di veicoli subacquei o marine vocalizzazione dei mammiferi. La traiettoria del nodo di origine è stimato confrontando la misura di CIR per ciascuno segnale ricevuto e un database di modelli CIR precalcolati. La migliore posizione del modello CIR che si adatta alla misurazione uno è conservato in una serie di possibili posizioni dei nodi; poi un trelis form viene creato da questo set per ottenere la fonte finale stima della traiettoria utilizzando un processo di tracciamento del percorso simile all'algoritmo di Viterbi. Invece di un nodo sensore accurato localizzazione, gli autori in [92] mirano a ridurre il consumo di energia assunzione e complessità computazionale della localizzazione schema riducendo la comunicazione tra i nodi. Come il lavoro citato in seguito [92], lo schema presentato in [93] è senza ancoraggio. La posizione esatta del nodo del sensore viene calcolata legato alla sua profondità ottenuta dalla pressione del sensore collegato combinato alle informazioni bidimensionali fornite dal AUV. Questo successivamente si tuffa nella profondità specifica per trasmettere un pacchetto contenente la sua posizione utilizzando diversi livelli di potenza mentre ci si sposta orizzontalmente. I nodi del sensore ricevono questo pacchetto determinarne la posizione; in caso contrario, i nodi sink potrebbero richiedere l'est

iniziativa per stimare la posizione del nodo del sensore, che si riduce la complessità computazionale e aumentare la durata dei nodi.

III. COMUNICAZIONI MAGNETO-INDUTTIVE

L'induzione magnetica (MI) viene utilizzata principalmente per la metropolitana Reti di comunicazione wireless (UGWN) [94] - [98] dove l'aria non è più il mezzo di propagazione ma roccia, suolo e acqua. La fattibilità e l'efficacia di Tecnica di comunicazione wireless MI per l'ambiente marino ronment sono dimostrati in [99], [100]. Abilita UGWN molte applicazioni sofisticate e critiche, inclusa la terra previsioni di terremoti e frane, sorveglianza in acque profonde e tariffa del cavo della miniera [8], [94], [101], [102]. Comunicazione finita quei medium devono affrontare sfide significative come il percorso perdita, condizione del canale dinamico e antenna di grandi dimensioni. Ecco perché le tecniche di comunicazione sono ben consolidate per la rete wireless terrestre non sono adatti per

VOLUME 7, 2019

TABELLA 2. Tabella di conducibilità e permeabilità magnetica su aria e acqua.

dovrebbe essere preso in considerazione quando si progetta un trasmettitore per operare in acque molto basse.

La corrente parassita è un problema di commento sia di MI che di Tecniche di comunicazione EM nelle reti sottomarine, appare su un mezzo subacqueo altamente conduttivo e provoca una significativa perdita di percorso sui segnali trasmessi. Basato secondo la legge di induzione di Faraday, le correnti parassite sono gli anelli di corrente elettrica indotti all'interno delle bobine risultanti dalla variazione nel tempo del campo magnetico iniziale. Un nuovo campo magnetico che si oppone ai cambiamenti del campo iniziale è creato dalla corrente parassita secondo la legge di Lenz. Sul D'altra parte, l'antenna a bobina funziona alle alte frequenze su un mezzo di connettività diverso da zero poiché l'acqua di mare incorrerà perdite elevate. Inoltre, la corrente parassita crea un momento contrapponendosi al momento iniziale creato dal trasmettitore che cambia la distribuzione del campo. L'attenuazione del segnale MI è dato come segue:

paragonato alle onde acustiche poiché la velocità delle onde MI l'acqua è di circa  $3,33 \times 10^{-7}$  m / s mentre è di circa 1500 m / s per onde acustiche [103]. Questa proprietà delle onde MI potrebbe essere utile per migliorare la latenza e la facilitazione della comunicazione itate lo sviluppo di protocolli di rete come complicati MAC e protocolli di instradamento; faciliterà il progettazione di servizi di rete come localizzazione [104] - [106]. In caso contrario, il ritardo trascurabile aiuta a livello fisico sincronizzazione e renderlo molto semplice e affidabile. Sotto- I nodi del sensore dell'acqua dotati di filo o bobina sintonizzata creano a campo magnetico utilizzato per ottenere la comunicazione MI tra di loro. La corrente alternata che passa attraverso la bobina collegata al trasmettitore indurrà una corrente nella bobina del ricevitore. Le informazioni vengono trasmesse la risonanza elettrica modulata, come ottiene il ricevitore l'informazione dei dati demodulando la corrente indotta sulla sua bobina attaccata. Concettualmente, la bobina sorgente potrebbe essere considerato come un dipolo magnetico, dove il suo scopo è di massimizzare imitare il raggio di trasmissione creando un massimo intensità di campo, questo si ottiene massimizzando il magnetico momento.

A. MI CHANNEL

La comunicazione basata su MI utilizza un AC magnetico alternato campo come canale. La differenza tra i segnali MI e i segnali elettromagnetici utili (EM) nelle comunicazioni radio zione è la componente trascurata del campo elettrico che conduce alla proprietà di non propagazione delle onde MI [101]. Questo è a causa della radiazione della resistenza della bobina che è inferiore a dipolo elettrico utilizzato per produrre il campo elettromagnetico da allora una bobina irradia alcune porzioni di energia al campo lontano. Anche, il campo elettrico soppresso potrebbe essere causato dagli interessati frequenza estremamente bassa (ELF). Il propellente non propagante erty è chiarito dal confronto con i sistemi radio, dove a un forte campo elettrico è prodotto eseguendo una radiazione resistenza dell'antenna dipolo elettrica, più significativa rispetto alle perdite di terra. Al fine di far circolare i dati sul MI tecniche di modulazione della portante utilizzate nelle comunicazioni radio potrebbe essere presa in considerazione. La corrente parassita indotta dal campo magnetico nell'acqua di mare conduttiva, attenuare e amplificare alcune componenti vettoriali del campo. Questa corrente

96889

FIGURA 8. Perdita di percorso rispetto alla distanza tra due bobine per due diversi frequenza di funzionamento a) f = 500Hz eb) f = 2.5KHz.

raggio della bobina e il numero di giri. Diminuisce aumentando

$$\alpha = \delta = \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (12)$$

Un modello di perdita di percorso è sviluppato in [13] considerando un duale antenna, la sua analisi delle prestazioni viene eseguita attraverso il confronto con acustico, EM e il canale ottico. Questo il confronto viene effettuato tramite le valutazioni numeriche, dove vengono utilizzati due mezzi di comunicazione, fresco e marittimo acqua. Il sistema a doppia antenna è composto da due magnetici antenne accoppiate separate dalla distanza  $r$  ed è rappresentato come una rete a due porte. Come presupposto, entrambe le antenne lo sono usato senza perdite. Al fine di garantire la comunicazione gamma, i poteri trasmessi e ricevuti indicati di seguito sono essenziali:

$$P_{TX}(r) = \text{Re}(V_{I1}) = \text{Re}(Z_{11}) - \frac{Z_{12}^2}{Z_L + Z_{22}} |I_1|^2 \quad (13)$$

$$P_{RX}(r) = |I_2|^2 \text{Re}(Z_L) = \text{Re}(Z_L) \frac{Z_{12}^2}{|Z_L + Z_{22}|^2} |I_1|^2 \quad (14)$$

La perdita di percorso (PL) del sistema a doppia antenna è definita come a seguire:

$$PL = -10 \log \frac{P_{TX}(r)}{P_{RX}(r)} \quad (15)$$

Una variazione nel tempo del campo magnetico della bobina del trasmettitore indurrà una tensione nella bobina del ricevitore risultante da mutua induttanza  $M$ . Si consigliano le basse frequenze per l'antenna magnetica utilizzata in acqua di mare. Migliora la raccolta di energia della comunicazione MI evitando Correnti parassite create dal flusso di campo magnetico CA nel trans-bobina di mitter. È chiaro che la perdita di percorso dipende dalla frequenza,

il raggio della bobina o il numero di giri e il funzionamento frequenza. Dipendenza tra perdita di percorso e frequenza

diminuire utilizzando un raggio della bobina elevato. Poiché l'acqua di mare ha un alta conducibilità elettrica che induce la creazione di Eddy corrente, la perdita di percorso è maggiore che in acqua dolce. Basato sull'equazione 15, considerando che il calcolo  $P_{TX}$  e  $P_{RX}$  è diverso per i parametri di bobine e ricetrasmittitori dati, La Figura 8 mostra la perdita di percorso totale che è la somma dell'accoppiamento e perdita di conduzione in funzione della distanza tra bobine per frequenze diverse: a) 500 Hz eb) 2,5 kHz utilizzando lo scenario in [107]. Normalmente, i risultati numerici nella Figura 8 mostrano che la perdita di percorso totale aumenta con la distanza. Anche, si può vedere che a bassa frequenza, la perdita di accoppiamento è maggiore della perdita di conduzione, mentre diminuisce quando utilizzando l'alta frequenza. Ciò significa aumentare la comunicazione gamma di nication, una frequenza ottimale dovrebbe essere utilizzata per il parametri della bobina dati. Questo problema viene discusso frequentemente in la comunità di ricercatori di questo campo [108] - [113].

Il momento magnetico è dato in [101] per aumentare intensità di campo attraverso la permeabilità magnetica del nucleo bobina,  $m = \mu NIA$ . Dove  $N$  è il numero di giri del loop antenna, io è la corrente che passa attraverso le  $N$  spire per creare il campo magnetico.  $A$  è l'area della sezione trasversale della bobina in  $m^2$ . Il momento  $m$  potrebbe essere aumentato aumentando uno di i parametri dell'equazione sopra. Tuttavia, un compromesso tra questi parametri sorgono. L'aumento di  $N$  indurrà il aumento della perdita di rame, produce una perdita di nucleo più accoppiata e la bobina più pesante sarà utilizzata come antenna a causa dell'aumento in massa di filo di rame. L'aumento di  $I$  è seguito dal aumento della perdita di potenza ( $I^2 r$ ) e della perdita del nucleo, come  $r$  è il per resistenza. Di conseguenza, un limite di unità pratico non dovrebbe

96890

VOLUME 7, 2019

## Pagina 13

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

essere superato. Un altro modo efficace per aumentare il momento  $m$ , principalmente quando si utilizzano bobine senza nucleo è aumentando la bobina area della sezione trasversale  $A$ . Poiché  $m$  potrebbe essere aumentata di un fattore di quattro semplicemente raddoppiando il diametro della bobina. La modifica di la geometria della bobina (cioè il rapporto lunghezza / diametro) risulta un  $\mu$  massiccio. Di conseguenza, il progettista della bobina dovrebbe prendere in considerazione tenere conto del trade-off tra momento magnetico, perdita di rame, perdita di nucleo. Per il canale wireless MI sott'acqua con griglia 3D [114], le prestazioni potrebbero essere migliorate scegliendo la bobina ideale raggio, distanza tra le bobine, diametro del filo e capacità. Vengono fornite analisi teoriche di alcune prestazioni di rete in questo articolo, come SNR, BER, Connectivity e band-larghezza.

Diversamente da [13] e [114] dove gli autori considerano un'antenna fissa unidirezionale e infinita sott'acqua ambiente. [115] propone un modello di canale sottomarino per far fronte a questi problemi. L'ambiente marino non lo è sempre infinito; alcune applicazioni sono sviluppate in particolare per acque poco profonde. Quindi, il canale progettato dovrebbe sider questo tipo di ambiente e ottieni il vantaggio del laterale onde. In acque poco profonde, la bobina del trasmettitore potrebbe essere vicina alla superficie del mare che si traduce nella creazione di un percorso diretto, percorso riflesso e onda laterale. L'ultimo potrebbe abilitare un lungo raggio di comunicazione subacquea poiché sperimenta minore assorbimento durante la propagazione nell'aria senza perdite.

Inoltre, le onde MI che viaggiano dall'acqua all'aria lo faranno incorrere in rifrazione nella superficie del mare, come nel caso di applicazioni eseguite in acque poco profonde. La rifrazione è non sempre negativo; potrebbe essere positivo che sia lo studio ambito in [116]. Per far fronte alla rotazione dinamica dei dispositivi subacquei, un'antenna a bobina tridirezionale (TD) è sviluppato che si compone di tre unidirezionali (UD) bobine singole; ognuno è perpendicolare a una delle carte- assi di coordinazione sian. La progettazione del software e dell'hardware implementazione sono presentate in [117], dove le bobine potrebbero onant con la stessa frequenza o tre frequenze diverse.

FIGURA 9. Distanza massima tra due bobine rispetto al minimo intensità del segnale rilevabile.

porta alla creazione della corrente Eddy. Lo studio mira a trovare il compromesso tra il design delle bobine e la frequenza ottimale, considerando tutte le perdite di potenza al fine di stabilire un collegamento coerente che consente il raggio di trasmissione di poche centinaia di metri. Questo lavoro viene pubblicato in [107], dove si trova un amplificatore di potenza supportato dall'antenna quasi omnidirezionale potenziata. Quindi i problemi sopra menzionati e il risultato dell'accoppiamento- il disallineamento delle bobine viene risolto.

### B. SOLUZIONI PROPOSTE PER MIGLIORARE IL CANALE CAPACITÀ E GAMMA DI TRASMISSIONE

#### 1) MULTI-INPUT MULTI-OUTPUT (MIMO)

Recentemente, la comunicazione subacquea si è estesa a comunicazione di induzione magnetica a campo vicino (NFMIC). Questa tecnica presenta alcuni vantaggi, come la comunicazione sicura comunicazione, meno interferenze ed efficace collegamento a più percorsi comunicazione. Tuttavia, un collo di bottiglia limita il buon uso di questa tecnica, cioè la degradazione del segnale ricevuto che decade per l'esponenziale della sesta potenza inversa di distanza [120]. Dopo che è stato studiato in RF, autori

L'uso di una singola frequenza portante facilita il relè della bobina distribuzione che migliora la robustezza della comunicazione mentre l'uso di tre frequenze migliora l'accesso multiplo capacità.

Il modello di campo lontano è sviluppato in [118] basato su il dipolo magnetico. Momento magnetico e minimo intensità del segnale rilevabile  $S_{min}$  del ricevitore sono entrambi utilizzati aumentare il raggio di comunicazione del campo magnetico sottomarino in migliaia di metri. Inoltre, l'equazione del massimo la distanza di comunicazione è derivata come segue:

$$r_{max} = \frac{\mu m}{2\pi S_{min}} \tag{16}$$

Risultati numerici presentati nella Figura 9 forniti in base a Equa- La sezione 16 mostra che maggiore è il minimo rilevabile potenza del segnale, è consentito il raggio di comunicazione più breve. Gli autori in [119] forniscono un'analisi dettagliata del diverso percorso perde nel collegamento MI subacqueo. Oltre alla perdita di percorso descritto sopra derivante dalla perdita di accoppiamento, un conduttore viene introdotta la perdita. Ciò è dovuto alla conduttività dell'acqua di mare che

in [121] ha proposto il sistema MIMO per migliorare la comunicazione gamma di cationi di NFMIC. Questo sistema ha più antenne per la trasmissione e la ricezione, il numero di queste antenne aumentare i canali di comunicazione e dare più libertà diversità di qualità per il sistema. In questo lavoro, non solo MIMO viene proposto ma anche multiple input single output (MISO) e single input multiple output (SIMO) sono coperti da questo studia. Collegamento budget MIMO considerato come la distanza tra il trasmettitore e il ricevitore sono dati come segue:

$$x = x * 10^{\frac{\sum_{n=1}^N 90 \log \left( \frac{\cos \theta}{(1+r \cos 2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right) \frac{1}{x^2}}}{60} \quad \text{se } \theta \text{ diverso,}$$
$$x = x * 10^{\frac{\sum_{n=1}^N \pi T + nR}{N-1} \frac{N * 10 \log \left( \frac{\cos \theta}{(1+r \cos 2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right) \frac{1}{x^2}}{60}} \quad \text{se } \theta \text{ lo stesso,}$$
$$x = x * \sum_{\theta=0}^{\theta=90} \frac{90 * N = n T + n R}{\theta * N = 1} x .$$

In questa equazione, la variazione dell'angolo  $\theta$  tra il trans- mitter e il ricevitore viene preso in considerazione.  $r$  e  $N$  sono rispettivamente i raggi e il numero del trasmettitore e

FIGURA 10. Antenna ad anello multipolare eterogenea proposta in [123] per abilitare il crosstalk piano di cancellazione.

ricevitore,  $n_r$  e  $n_t$  sono rispettivamente il numero di trans- mitter e ricevitore. Come speciale rimarca di questo studio è raccomandando per la comunicazione uplink per aumentare il numero di trasmettitori e per la comunicazione in downlink a aumentare il numero di ricevitori. L'uso di più con- antenne venerali nel sistema MIMO è accompagnato da il crosstalk si è verificato tra questi anelli circolari disposti risultante dall'accoppiamento induttivo. Pertanto, MI com sistema di comunicazione che mira ad aumentare la capacità del canale MI ity che impiega flussi multi-paralleli attraverso il sistema MIMO dovrebbe ridurre questi crosstalks. Invece di usare lo stesso modelli di antenna per realizzare la trasmissione MIMO con limitato capacità di collegamento. Gli autori in [122], [123] propongono di utilizzare un et array di antenne generose che consentono la cancellazione del crosstalk. Questa antenna è composta da un'antenna circolare ad anello e da antenna quadripolare ad anello, che è un doppio anello circolare antenna, come mostrato nella Figura 10 . Per garantire il crosstalk l'annullamento dell'accoppiamento magnetico che causa questo problema dovrebbe essere annullato. A questo scopo, dovrebbe annullare l'intero magnetico campo dell'antenna a telaio quadripolare per creare la cancellazione Piano. Utilizzando una direzione della corrente diversa in ogni loop di quadrupolo, creiamo un campo magnetico opposto che annulla l'un l'altro. Quindi, per garantire la trasmissione crosstalk gratuita l'antenna di trasmissione dovrebbe essere situata sul piano di cancellazione dell'antenna del ricevitore. Come è noto il magnetico totale

la bobina crea un campo magnetico che raggiunge la successiva bobina del relè. Di conseguenza, una corrente sinusoidale viene creata in questa bobina che induce una corrente sinusoidale nella successiva bobina del relè e così via fino a raggiungere la bobina del ricevitore. Quindi, il raggio di trasmissione di ricetrasmittitori è esteso per quanto riguarda il numero di bobine di relè fra loro. Questa tecnica è discussa in [124], [125] dove un relè passivo viene utilizzato per risolvere due dei tre principali colli di bottiglia della comunicazione wireless sotterranea tale come condizione del canale dinamico e grande dimensione dell'antenna. Il Le bobine del relè passivo sono semplicemente bobine senza capacità di elaborazione e fonte di energia.

Gli autori in [126] hanno proposto di aggiungere nuove funzionalità a bobine di relè per migliorare le prestazioni della guida d'onda tecnica. Il relè attivo utilizzato in [126] è una serie di bobine antenne in grado di elaborare e inoltrare i segnali ricevuti. Molti schemi potrebbero essere supportati da quelle bobine di relè. In primo luogo, è stato indicato lo schema di amplificazione e inoltre come AF. Questo è il più semplice in cui il segnale ricevuto viene amplificato e inoltrato. Viene eseguita l'amplificazione attraverso una frequenza piatta costante. Il secondo schema, filtri successivamente il segnale ricevuto viene indicato con FF. A differenza di AF, FF utilizza frequenze selettive per l'amplificazione del segnale rispetto a una frequenza piatta costante come AF. Il terzo è la decodifica e inoltre chiamato dallo schema di inoltrato DF. In questo schema, la mappatura lineare tra ricevuto e trasmesso

campo è dato in funzione dei parametri del loop dell'antenna come il raggio, il numero di giri e la distanza dal suo centro, quindi questi parametri vengono utilizzati per creare il piano di cancellazione in un punto specifico.

2) MI WAVEGUIDE

La guida d'onda MI è una serie di antenne a bobina di relè posizionate tra i ricetrasmittitori per estendere la loro trasmissione gamma. La corrente sinusoidale che passa attraverso il trasmettitore

96892

Pagina 15

M. Joughari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IUOT

rimanenti due schemi, vengono considerati più dispositivi inattivi con deferenza nella strategia di selezione di maestro e assistente relè che viene eseguito in base alla posizione del nodo. Un 3D le analisi fornite da N. Ahmed, e tutte in [128] lo mostrano l'uso della configurazione sferica di tre bobine di inoltro è consigliato nello sviluppo di coils multi-bobina sistemi di comunicazione. Infatti, le tre bobine considerate nel studio sono disposti ortogonalmente nello stesso centro. Un extra analisi di configurazione fornite dove sono disposte le bobine in tre diversi lati di un cubo con diverse bobine al centro.

3) INDUZIONE MAGNETICA METAMATERIALE  $M_{2I}$  MECCANISMO DI COMUNICAZIONE.

L'onda magnetica del sistema di comunicazione MI si attenua velocemente in un ambiente con perdite come sott'acqua a causa di molti parametri come menzionato sopra. Per superare questo problema, il metamateriale è proposto in [129] per migliorare il mag-campo netico intorno ai ricetrasmittitori che aumenterà la trasmissione gamma di sion. L'idea di questa tecnica è che l'antenna a bobina è racchiuso da una sfera metamateriale quindi il campo magnetico viaggiare attraverso lo strato metamateriale aumenterà il Gamma di comunicazione MI. Viene utilizzata la sfera metamateriale principalmente per migliorare la gamma di campo vicino come il suo vantaggio è caratterizzato dal compromesso tra  $L_i$  e  $M$  tramite guadagno di induzione indicato con  $G_m$ , che è:

$$G_m = \frac{R \rho |M_{meta}|}{(R_{cmeta} + w L_{mga}) |M_0|}, \tag{17}$$

dove  $M_{meta}$  e  $M_0$  sono rispettivamente i mutui induzione tance utilizzando e senza la sfera metamateriale. Il la resistenza della bobina utilizzando e senza metamateriale è rispettata tively  $R_{mga}$  e  $R_0$ ,  $w$  è la frequenza angolare. il materiale ha la capacità di cambiare drasticamente le proprietà di induttanza  $L$  e mutua induttanza  $M$ . Così il la componente reale  $L$  del campo magnetico diventa un complesso numero in base alle frequenze  $L_i$ . Il modello presentato in [129] è totalmente teorico; quindi, l'attuazione di a il modello reale è un compito impegnativo poiché non ci sono istruzioni sul design e la fabbricazione del metamateriale sferico. Gli autori in [130] propongono l'uso di un array di bobine sferiche come metamateriale sferica realizzare  $M_{2mi}$ . Questa sfera è composto da più piccole bobine distribuite su una sfera calotta che aumenta la radiazione del campo magnetico. Conse-di conseguenza, il raggio di comunicazione e la velocità dei dati vengono aumentati. Basato su [130] autori propongono un prototipo [131] utilizzando a circuito RLC stampato sul substrato FR4 come mostrato nella Figura 11. L'articolo [132] mostra l'esistenza di un divario tra il reale e previsione teorica nell'esecuzione di  $M_{2I}$  basato su array di bobine sferiche. Questo accade anche se con sforzi impegnati in [132] per garantire la condizione ottimale che raggiunge la permeabilità negativa per estendere l'irradiato campo. Non solo i parametri dell'antenna a bobina racchiusi all'interno del il metamateriale ha un impatto sul campo irradiato. Tuttavia, anche il materiale di riempimento che separa la bobina e il metamateriale può migliorare la mutua induttanza [133]. Un confronto di un file

i segnali sono svaniti. Inoltre, l'istituzione di full viene introdotta e analizzata la modalità di inoltro duplex.

L'inoltro multi-hop è proposto in NFMIC [127] per estensione del raggio di comunicazione e potenziamento della capacità del canale ment. Questa tecnica si basa sulla topologia di rete dove i nodi inattivi distribuiti nella rete vengono utilizzati come cooperativi nodi di inoltro. Vengono studiati tre schemi cooperativi questo lavoro, dove non c'è linea di vista (NLoS). Nel primo schema, solo un nodo viene utilizzato come relè. Per il

VOLUME 7, 2019

FIGURA 11. Struttura sferica stampata in 3D con antenne a bobina [131].

piccola antenna con il modello precedente [129] ha mostrato che a viene eseguito un raggio di trasmissione minimo di 5 m.

4) ADATTAMENTO DELLA FREQUENZA DINAMICA

La migliore frequenza operativa in cui funziona il canale MI la sua migliore larghezza di banda, come mostrato in [108], è correlata al distanza tra le bobine e la disposizione di dispiegamento di loro. Poiché la disposizione laterale di una coppia di bobine pre-sfoga la comunicazione MI tra di loro. Il sotterraneo ambiente di comunicazione (che è lo scopo di [108]) conosce la variazione casuale (in particolare nell'umidità del suolo), dove nasce la necessità di una selezione dinamica della frequenza, per adottare il migliore selezione della frequenza operativa in base alle condizioni del suolo. O utilizzando la frequenza operativa eseguita dal sistema male in presenza della capacità parassitaria. Questo ha nascosto den capacitance compare quando una bobina ha l'induttanza  $L$  funziona senza alcun condensatore in serie o in parallelo. Così questo il condensatore parassita assume il ruolo del condensatore C. Un terreno il modello di attenuazione del percorso è stato sviluppato per ottenere il funzionamento frequenza basata sulle condizioni del suolo e sulla comunicazione distanza. Diversamente, in alcuni casi, la frequenza dinamica soluzione di adattamento non è buona in termini di raccolta di energia e le sfide di robustezza e la soluzione adeguata potrebbero essere ottenuto semplicemente aumentando il numero di giri del filo. Il lavoro precedente è seguito da [113] degli stessi autori dove viene proposto uno schema strategico di adattamento della frequenza per reti di sensori sotterranei MI-Wireless secondo la condizione media che circonda i nodi MI.

In questo studio, viene considerata una condizione media normale piuttosto che il peggiore corrispondente all'elevata umidità del suolo. L'ultimo caso è un approccio strategico e diretto, ma riduce la larghezza di banda di alcune applicazioni in cui la condizione non è peggiore per la maggior parte del tempo. Questo lo studio raccomanda l'uso di almeno due cablaggi distinti per ogni bobina per passare da una all'altra mentre si cerca l'ottimale frequenza. Ciò consente la comunicazione MI ottimale sotto diverse condizioni del suolo. Un metodo consapevole dell'ambiente è sviluppato in [134] per selezionare meglio il funzionamento ottimale relè di frequenza e instradamento nella rete. Questo metodo è utilizzato per stimare i fattori negativi / positivi di un complesso ambiente basato su dati di allenamento reali ottenuti dal processo di handshaking tra ricetrasmittitori. Questo aiuta a pre-dettare l'impatto ambientale del canale per selezionare meglio la frequenza operativa.

Di conseguenza, l'efficienza della rete è significativa migliorato. La larghezza di banda viene estesa di un fattore tre

attraverso la regolazione dinamica della frequenza di risonanza di Bobina MI [111]. Ciò è dovuto alla bobina del trasmettitore in dotazione con un condensatore variabile. Lo è anche l'adattamento della frequenza necessari per migliorare la connettività del MI ad-A Com-Design dell'antenna a bobina magneto-induttiva pact per rete ad hoc di comunicazioni idriche [112]. Come un viene proposto il metodo di ottimizzazione della commutazione di frequenza sull'algoritmo di discesa del gradiente. Inoltre, l'adeguato lo spazio di copertura di un nodo MI è ottenuto da un Lambert Integrazione basata sulla funzione W.

Tecnica MIMO proposta nella sezione precedente per migliorare il raggio di comunicazione è presentato in modo diverso in [109], come ogni elemento nell'antenna array MIMO sta usando il suo frequenza di risonanza per ottenere multibanda al fine di ingrandire la larghezza di banda complessiva del sistema. L'accoppiamento reciproco cre-tra quelle bobine a causa della diversità delle frequenze di risonanza viene acquisito e utilizzato per ottenere la configurazione ottimale dell'array di antenne. La soluzione SR assegna una diversa frequenza ottimale per ogni relè MI e bobina ricetrasmettitore. Le frequenze SR sono sufficienti per estendere la larghezza di banda del canale MI e da modo, aumentare la capacità del canale. Inoltre, la perdita di percorso è diminuito utilizzando la frequenza operativa centrale ottimale.

#### C. ALIMENTAZIONE WIRELESS SIMULTANEA E TRASFERIMENTO DELLE INFORMAZIONI (SWPIT)

MI conosce un crescente interesse per la realizzazione di applicazioni richiede contactless o Wireless Power Transfer (WPT), a causa alla sua alta efficienza. Sebbene sia noto nel contesto dei sistemi di comunicazione a campo vicino [135], ne manca alcuni requisiti applicativi, soprattutto in termini di trasmissione gamma. Per superare questo problema, vengono proposte molte soluzioni, come l'uso del beamforming magnetico o del Magnetic Accoppiamento risonante (MRC). Nell'accoppiamento induttivo (IC) normalmente si utilizza una coppia di bobine accoppiate, mentre la la bobina ricevente situata nel campo irradiato impiega l'indotto corrente per risparmiare energia. Le ricerche più recenti sono focalizzate sullo studio del trasferimento di potenza attiva [135], [136]. Mentre in [137] gli autori studiano l'effetto della potenza reattiva sull'MI sistema. Hanno scoperto che il rapporto tra la potenza reattiva il campo magnetico irradiato non è correlato alla potenza o al corrente che passa attraverso le bobine ma è correlata alla geometria delle bobine.

Informazioni wireless simultanee e trasmissione di potenza fer (SWIPT) è stato recentemente proposto da S. Kisselef e tutti in [138]. Combina il WPT e la trasmissione delle informazioni utilizzando lo stesso segnale di trasmissione. A tal fine, l'ottimizzazione è necessaria la ripartizione della potenza del trasmettitore. Da il modello proposto è composto da un unico trasmettitore

e più ricevitori. L'antenna a tre bobine ortogonali descritto in [128] è utilizzato come trasmettitore che abilita il autointerferenza gratuita mentre i ricevitori vengono distribuiti in modo casuale intorno al trasmettitore utilizzare l'antenna a bobina singola. In ordine soddisfare le esigenze degli utenti in termini di QoS come SNR, vengono considerati due problemi di ottimizzazione. Il primo è la massimizzazione della somma di potenza ricevuta di tutta la potenza ricevitori tenendo conto del QoS del ricevitore dati. Il secondo è la massimizzazione della potenza ricevuta dal peggior ricevitore considerando lo stesso requisito di QoS.

Il problema dell'allineamento che ha un impatto sostanziale sul trasferimento di potenza è risolto in [138] usando i tre antenna a bobine ortogonali. Altrimenti, gli autori in [136] pro ha posto un posizionamento ottimale del trasmettitore di potenza all'interno del regione target al fine di ottenere una trasmissione efficiente della potenza indipendentemente dalla posizione del ricevitore di alimentazione in questa regione.

WPT usa l'MRC per espandere il suo raggio di trasmissione a differenza a IC streghe utilizzare bobine ricetrasmettitori semplici. In MRC le bobine sono dotato di una capacità aggiuntiva che consente il trans-mitter e ricevitore risonano alla stessa frequenza. Questo garantisce un'eccellente efficienza di trasferimento della potenza nel tempo raggio di trasmissione rispetto all'IC. Estendendo il trans-portata della missione, più nodi sono coperti dalla trasmissione di potenza Ter dove viene la necessità del protocollo di rete. Molteplici i ricevitori di alimentazione sono posizionati casualmente dal trasmettitore che richiede l'adattamento del circuito di potenza per mantenerli nant alla stessa frequenza. A tal fine, una comunicazione in banda Il protocollo di comunicazione è proposto in [139] per gestire la rete e controllare il circuito di alimentazione. Due metodi sono comunemente adottato in [140] per abilitare MRC basato su WPT. Il primo è attraverso risonatori, che sono sintonizzabili circuito RLC posto vicino alle bobine del ricetrasmettitore. Consente ai ricetrasmettitori di risonano alla frequenza operativa del sistema, che migliora l'efficienza di trasferimento di potenza. Il secondo metodo è basato su condensatori di capacità variabile incorporati nella rete elettrica circuito del trasmettitore di potenza e del ricevitore utilizzando frequenza del sistema per garantire la risonanza. Il second esegue il primo a causa dell'addizionale potenza dissipata prodotta da risonatori noti al parassita resistenza [108]. Recentemente il WPT è stato implementato [141] tramite un modo nominale come due metodi vengono utilizzati per i dati e l'alimentazione trasmissione. La capacità parassita generata dalla co-le bobine pling e le piastre di schermatura in metallo vengono utilizzate per il trasferimento dei dati tramite l'alta frequenza, mentre il campo magnetico irradiato dal le bobine di accoppiamento vengono utilizzate per il trasferimento di potenza tramite bassa frequenza. Quindi l'alimentazione e i dati vengono trasferiti rispettivamente tramite un file campo magnetico ed elettrico.

Il beamforming magnetico è abilitato quando i multipli TX le bobine stanno concentrando il loro campo magnetico in un raggio verso la bobina RX di destinazione. Questo metodo viene applicato per migliorare il Efficienza WPT; il suo buon utilizzo richiede l'ottimizzazione del fascio per MRC-WPT [142]. Quindi come il problema di ottimizzazione è formulato per trovare la corrente ottimale che dovrebbe fluire attraverso diverse bobine TX poiché viene prelevata una potenza ottimale I TX formano la loro sorgente di tensione e la potenza del carico RX richiede-ment è minimo. Pertanto, questo problema di ottimizzazione richiede

un calcolo complicato, soprattutto quando ci sono più TX ha riguardato. Per affrontare questo problema, gli autori in [143] propongono per abilitare lo schema di beamforming con calcoli bassi

raggio di trasmissione. Il trasferimento di potenza wireless (WPT) è efficace Ciently abilitato dal MI, che è utile per UWSN aumentare il tempo di funzionamento, che è l'occupazione principale



per espandere la distanza di ricarica wireless. La visione si evita di annullare l'accoppiamento magnetico aggiuntivo tra trasmettitori che riducono la complessità di calcolo da realizzare i trasmettitori e il circuito del ricevitore risuonano allo stesso frequenza trascurando l'allineamento di fase della trasmissione. Ciò è possibile utilizzando il modello di bobine di non accoppiamento, come mostrato sopra nella Figura 10.

MI basato su SWIPT è utilizzato principalmente su Internet of Underwater Things (IoUT) [3], [5], [144], [145] dove un enorme numero di oggetti sommersi a cui deve essere collegato l'un l'altro. Dal 2011 le comunicazioni MI hanno guadagnato insight da RF, acustica e comunicazione ottica in questo campo [12]. Come le applicazioni IoUT richiedono alcune condizioni soddisfatte da SWIPT-MI [3] basato sul romanzo schema di modulazione e demodulazione, che si basa sulla topologia di rete invece della forma d'onda del segnale, quelli i requisiti sono evidenziati come segue:

- 1) **Bassa complessità hardware** : semplice ed economico sono necessari ricetrasmittitori che sono già soddisfatti Bobine ricetrasmittitori MI per il trasferimento di dati e di potenza.
- 2) **Raccolta di energia** : è abilitata in modo efficiente attraverso SWIPT-MI dove sono simultanei alimentazione e dati trasferiti tra più ricetrasmittitori.
- 3) **Efficienza energetica** : non è richiesta alcuna potenza aggiuntiva da SWIPT-MI per il trasferimento dei dati poiché lo stesso segnale utilizzato per la trasmissione di potenza tenere i dati trasmessi. Pelliccia-thermore, per ampliare il raggio di trasmissione, solo pass-Per questo si potrebbero utilizzare bobine sive.
- 4) **Sicurezza** : a differenza di altre comunicazioni wireless tecniche di interazione MI rileva facilmente intrusioni di nodi e deformazione delle informazioni dalla modulazione del segnale dati si basa sulla topologia di rete.

L'uso delle comunicazioni MI su UWSN tramite SWIPT potrebbe essere utile per costruire città intelligenti, specialmente in quelle vicino all'acqua. Molti progetti vengono proposti a tal fine tled Smart Water-Smart Cities [146], [147].

#### IV. CONCLUSIONE

Il canale EM utilizzato nelle reti di sensori wireless terrestri non lo è adatto per l'uso nella comunicazione subacquea a causa del percorso perdite e condizioni dinamiche del canale. Quindi acustica e MI sono utilizzati principalmente in UWSN. Dal momento che consentono un buon canale qualità e ridurre l'impatto del duro ambiente condizioni. In caso contrario, alcune applicazioni non possono utilizzare l'acustica comunicazione come canale wireless poiché richiedono alta velocità effettiva e comunicazione in tempo reale. Quindi, come MI è raccomandato riparato per questo caso principalmente per l'internet della subacquea cose, che in questi giorni attirano un enorme interesse. Dal momento che MI si comporta in campo vicino e richiede alcuni miglioramenti estendere il suo raggio di trasmissione. Alcune soluzioni, come guida d'onda, si propongono di affrontare questi problemi. A causa di questo in seguito, acustico la comunicazione è preferibile per le applicazioni che richiedono grandi dimensioni

di molte applicazioni. Contrariamente a MI, il WPT non è consentito dalla comunicazione acustica. In prospettiva, abbiamo intenzione di farlo considerare un canale eterogeneo basato sui vantaggi di entrambi i canali acustici e MI. Questo canale abiliterà un file instradamento geografico sofisticato per il trasferimento di dati multi-hop dal fondo alla stazione di superficie del mare. In questo protocollo, la comunicazione acustica viene utilizzata tra i nodi per i dati bassi tasso e lungo raggio di comunicazione. Considerando che, viene utilizzato MI tra i nodi sottomarini considerati come gateway e la stazione di superficie del mare per alta velocità di dati e brevi comunicazioni gamma di cationi.

#### REFERIMENTI

- [1] JG Proakis, EM Sozer, JA Rice e M. Stojanovic, "Acque poco profonde reti acustiche", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, n. 11, pagg. 114–119, Novembre 2001.
- [2] T. Melodia, H. Kulhandjian, L.-C. Kuo ed E. Demirors, "avanza in reti acustiche subacquee", in *Mobile Ad Hoc Networking: Cutting Direzioni del bordo*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013, cap. 23, pagg. 804–852.
- [3] B. Gulbahar, "Network topology modulation for energy and data transmission in Internet delle cose magneto-induttive", in *Proc. Globlo IEEE com Workshops (GC Wkshps)*, dicembre 2016, pagg. 1–6.
- [4] A. Kulkarni, V. Kumar e SB Dhok, "Tecnologie abilitanti per potenziamento della portata dei media non convenzionali wireless basati su MI munication", in *Proc. 9th Int. Conf. Comput., Commun. Netw. Technol. (ICCCNT)*, luglio 2018, pagg. 1–7.
- [5] B. Gulbahar, "Un'analisi teorica della comunicazione dell'accesso multiplo capacità del canale in reti wireless magneto-induttive", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, n. 6, pp. 2594–2607, giugno 2017.
- [6] E.-C. Liou, C.-C. Kao, C.-H. Chang, Y.-S. Lin e C.-J. Huang, "Internet of underwater things: Challenges and routing protocols", in *Proc. IEEE Int. Conf. Appl. Syst. Invention (ICASI)*, aprile 2018, pagg. 1171–1174.
- [7] C.-C. Kao, Y.-S. Lin, G.-D. Wu e C.-J. Huang, "A study of applicazioni, sfide e modelli di canale su Internet di underwacose ter", in *Proc. Int. Conf. Appl. Syst. Innov. (ICASI)*, maggio 2017, pp. 1375–1378.
- [8] MC Vuran, A. Salam, R. Wong e S. Irmak, "Internet of undercose di base: rilevamento e comunicazioni sul campo per la precisione agricoltura", in *Proc. IEEE 4th World Forum Internet Things (WF-IoT)*, Febbraio 2018, pagg. 586–591.
- [9] RWL Coutinho, A. Boukerche, LFM Vieira e AAF Loureiro, "Reti di sensori wireless subacquee: una novità sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia", *ACM Comput. Surv.*, vol. 51, n. 1, pp. 19–1–19–36, gennaio 2018.
- [10] S. Han, R. Chen, Y. Noh e M. Gerla, "Streaming video in tempo reale da sensori subacquee mobili", in *Proc. ACM Int. Conf. Rete subacquea Syst. (WUWNET)*, New York, NY, USA, 2014, pagg. 21–21–28.
- [11] S. Han, Y. Noh, U. Lee e M. Gerla, "Rete ibrida ottico-acustica verso lo streaming video in tempo reale per sensori subacquee mobili", *Ad Hoc Netw.*, vol. 83, p. 1–7, febbraio 2019.
- [12] MC Domingo, "Una panoramica dell'Internet delle cose sottomarine", *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 35, n. 6, pagg. 1879–1890, 2012.
- [13] MC Domingo, "Induzione magnetica per comunicazioni wireless subacquee reti di comunicazione", *IEEE Trans. Antenne Propag.*, vol. 60, n. 6, pp. 2929–2939, giugno 2012.
- [14] H. Guo, Z. Sun e P. Wang, "Canale a banda di frequenza multipla modeling e analisi per la comunicazione di induzione magnetica in pratica ambienti sottomarini", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, n. 8, pp. 6619–6632, agosto 2017.
- [15] S. Kisseleff, IF Akylidiz e WH Gerstacker, "Survey on advances in reti di sensori sottomarini wireless basate sull'induzione magnetica", *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, n. 6, pp. 4843–4856, dicembre 2018.
- [16] DN Sandeep e V. Kumar, "Review on clustering, coverage and connettività nelle reti di sensori wireless subacquee: una comunicazione prospettiva delle tecniche", *IEEE Access*, vol. 5, pagg. 11176–11199, 2017.

- [17] MC Domingo, "Panoramica dei modelli di canale per wireless subacqueo reti di comunicazione", *Phys. Commun.*, vol. 1, n. 3, pagg. 163–182, 2008.
- [18] M. Stojanovic, "Sulla relazione tra capacità e distanza in un canale di comunicazione acustico subacqueo", in *Proc. Sott'acqua Netw.*, 2006, pagg. 41–47.
- [19] M. Stojanovic e J. Preisig, "Underwater acoustic communication channels: modelli di propagazione e caratterizzazione statistica", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, n. 1, pagg. 84–89, gennaio 2009.
- [20] M. Stojanovic, "Underwater acoustic communications: Design considerazioni sullo strato fisico", in *Proc. 5a Annu. Conf. Richiesta wireless Netw. Syst. Servizi*, 2008, pagg. 1–10.
- [21] FJ Cañete, J. López-Fernández, C. García-Corrales, A. Sánchez, E. Robles, FJ Rodrigo e JF Paris, "Misurazione e modellazione di canali a banda stretta per comunicazioni subacquee a ultrasuoni", *Sensori*, vol. 16, n. 2, p. 256, 2016.
- [22] J. Xu, K. Li e G. Min, "Asymmetric multi-path division communication

- [39] PH Dahl, JW Choi, NJ Williams e HC Graber, "Field misure e modellazione dell'attenuazione da bolle vicino alla superficie per le frequenze 1–20 kHz", *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 124, n. 3, pagg. EL163–EL169, 2008.
- [40] HS Dol, MEGD Colin, MA Ainslie, PA van Walree e J. Janmaat, "Simulazione di un canale di comunicazione acustica subacquea nel caratterizzato da onde superficiali e bolle generate dal vento", *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 38, n. 4, pp. 642–654, ottobre 2013.
- [41] R. van Vossen e MA Ainslie, "L'effetto delle bolle generate dal vento sulla retrodiffusione della superficie del mare a 940 Hz", *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 130, no. 5, pagg. 3413–3420, 2011.
- [42] X. Tu, L. Yang, Z. Shao, Z. Zhouwei e X. Xu, "Studio sull'impatto della cortina di bolle sulla comunicazione acustica subacquea", in *Proc. OCEANS TAIPEI*, 2014, pagg. 1–5.
- [43] G. Chua, M. Chitre e G. Deane, "Impact of persistent bubbles on comunicazione acustica subacquea", in *Proc. 4a comunità subacquea Netw. Conf. (UComms)*, 2018, pagg. 1–5.

zioni in reti acustiche sottomarine con canali in dissolvenza, " *J. Comput. Syst. Sci.* , vol. 79, n. 2, pagg. 269–278, 2013.

[23] J.-F. Bousquet, G. McIntyre e J. Quirion, "Time-variant acoustic caratterizzazione della propagazione negli impieghi nei porti marittimi ", in *Proc. 28 IEEE Può. Conf. Elett. Comput. Eng. (CCECE)* , maggio 2015, pagg. 1520–1525.

[24] Y. Cui, J. Qing, Q. Guan, F. Ji e G. Wei, "Stocasticamente ottimizzato trasmissioni a fontana su canali acustici sottomarini, " *IEEE Trans. Veh. Technol.* , vol. 64, n. 5, pp. 2108–2112, maggio 2015.

[25] EM Sozer, JG Proakis e F. Blackmon, "Equalizzazione iterativa e tecniche di decodifica per canali acustici in acque poco profonde ", in *Proc. MTS /IEEE Oceans. Odyssey. Conf.* , vol. 4, novembre 2001, pagg. 2201–2208.

[26] F. Blackmon, E. Sozer e J. Proakis, "equalizzazione iterativa, decodifica, e morbida diversità che si combina per canali acustici subacquei ", in *Proc. MTS /IEEE OCEANS* , vol. 4, ottobre 2002, pagg. 2425–2428.

[27] HM Roudsari, J.-F. Bousquet e G. McIntyre, "Channel model for sistemi acustici subacquei variabili nel tempo a banda larga ", in *Proc. OCEANI Aberdeen* , giugno 2017, pagg. 1–7.

[28] E. Baktash, MJ Dehghani, MRF Nasab e M. Karimi, "Shal- modellazione di canali acustici a bassa marea basata sul secondo ordine analitico statistiche per lo spostamento del trasmettitore / ricevitore, " *IEEE Trans. Processo del segnale.* , vol. 63, n. 10, pp. 2533–2545, maggio 2015.

[29] PA van Walree e R. Otnes, "Ultrawideband underwater acous- canali di comunicazione tic, " *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 38, n. 4, pp. 678–688, ottobre 2013.

[30] PA van Walree, "Effetti di propagazione e dispersione nell'acqua canali di comunicazione acustica ", *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 38, n. 4, pp. 614–631, ottobre 2013.

[31] J. Preisig, " Considerazioni sulla propagazione acustica per l'acustica subacquea tic communication network development, " *ACM SIGMOBILE Mobile Comput. Commun. Rev.* , vol. 11, n. 4, pagg. 2–10, ottobre 2007.

[32] M. Naderi, M. Pätzold e AG Zajic, "Un canale basato sulla geometria modello per canali acustici subacquei poco profondi sotto superficie ruvida e condizioni di dispersione del fondo ", in *Proc. IEEE 5th Int. Conf. Commun. Electron. (ICCE)* , luglio 2014, pagg. 112–117.

[33] M. Naderi, M. Pätzold, R. Hicheri e N. Youssef, "Una geometria- modello di canale acustico subacqueo basato che consente l'oceano in pendenza condizioni del fondo, " *IEEE Trans. Wireless Commun.* , vol. 16, n. 4, pp. 2394–2408, aprile 2017.

[34] K. Saraswathi, S. Ravishankar e RCV Singh, "Underwater commu- nicazioni in presenza di bolle e spostamento Doppler ", in *Proc. Int. Conf. Adv. Comput., Commun. Informat. (ICACCI)* , settembre 2017, pagg. 2173–2179.

[35] CA Boyles, AP Rosenberg e Q. Zhang, "Modellando l'effetto di pennacchi di bolle sulla propagazione acustica ad alta frequenza in acque poco profonde " in *Proc. Oceans-San Diego* , settembre 2013, pagg. 1–8.

[36] JC Novarini, RS Keiffer e GV Norton, "Un modello per variazioni in base alla gamma e alla profondità della velocità del suono e dell'attenuazione indotta da nuvole di bolle sotto le superfici marine mosse dal vento, " *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 23, n. 4, pp. 423–438, ottobre 1998.

[37] GV Norton e JC Novarini, "Sul ruolo relativo della superficie del mare rugosità e pennacchi di bolle nella propagazione in acque poco profonde regione kilohertz ", *J. Acoust. Soc. Amer.* , vol. 110, n. 6, pagg. 2946–2955, 2001.

[38] CA Boyles, AP Rosenberg e Q. Zhang, "Underwater acous- caratterizzazione del canale di comunicazione tic in presenza di bolle e ruvide superfici marine ", in *Proc. OCEANS IEEE Spagna* , giugno 2011, pagg. 1–8.

[44] GB Deane, JC Preisig e AC Lavery, "La sospensione di grandi dimensioni bolle vicino alla superficie del mare dalla turbolenza è il loro ruolo nell'assorbire suono diffuso in avanti ", *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 38, n. 4, pp. 632–641, ottobre 2013.

[45] F. Qu, Z. Wang, L. Yang e Z. Wu, "Un viaggio verso la modellazione e la risoluzione del Doppler nelle comunicazioni acustiche subacquee ", *IEEE Commun. Mag.* , vol. 54, n. 2, pagg. 49–55, febbraio 2016.

[46] JS Dhanoa e RF Ormondroyd, "Doppler differenziale combinato e compensazione del ritardo di tempo per una comunicazione acustica subacquea sistema ", in *Proc. MTS / IEEE OCEANS* , vol. 1, ottobre 2002, pagg. 581–587.

[47] C. Liu, YV Zakharov e T. Chen, "Doppiamente selettiva sott'acqua modello di canale acustico per un trasmettitore / ricevitore in movimento, " *IEEE Trans. Veh. Technol.* , vol. 61, n. 3, pagg. 938–950, marzo 2012.

[48] J. Li, YV Zakharov e B. Henson, "Multibranch autocorrelation metodo per la stima Doppler in canali acustici sottomarini, " *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 43, n. 4, pp. 1099–1113, ottobre 2018.

[49] J. Trubuil e T. Chonavel, "Stima accurata Doppler per sott'acqua comunicazioni acustiche ", in *Proc. OCEANS-Yeosu* , maggio 2012, pagg. 1–5.

[50] J. Xu, D. Wang, X. Hu e Y. Xie, "mitigazione dell'effetto Doppler su dispositivi mobili sistema acustico subacqueo OFDM, " in *Proc. WUWNet* , 2018, art. no. 2.

[51] Z. Chen, YR Zheng, J. Wang e J. Song, "Sincronizzazione e Stima della scala Doppler con doppia imbottitura PN TDS-OFDM per comunicazione acustica dell'acqua ", in *Proc. Oceans-San Diego* , settembre 2013, pagg. 1–4.

[52] Y. Li, Y. Wang e X. Guan, "Sincronizzazione congiunta e scala Doppler stima utilizzando sequenze zadoff-chu per la comunicazione acustica subacquea nicazioni ", in *Proc. OCEANS-Anchorage* , settembre 2017, pagg. 1–5.

[53] K. Wang, S. Chen, C. Liu, Y. Liu e Y. Xu, "stima Doppler e sincronizzazione temporale della comunicazione acustica subacquea basata su segnale di modulazione di frequenza iperbolica, " in *Proc. IEEE 12th Int. Conf. Netw., Sens. Control* , aprile 2015, pagg. 75–80.

[54] QK Nguyen, DH Do e VD Nguyen, "Compensazione Doppler metodo che utilizza un pilota a frequenza portante per l'acustica subacquea basata su ofdm sistemi di comunicazione ", in *Proc. Int. Conf. Adv. Technol. Commun. (ATC)* , ottobre 2017, pagg. 254–259.

[55] S. Huang, S. Fang e N. Han, "Un metodo di stima della velocità migliorato per echi target multi-evidenziazione a banda larga in sistemi sonar attivi, " *Sensors* , vol. 18, no. 9, p. 2794, 2018.

[56] DV Ha, VD Nguyen e QK Nguyen, "Modellazione del potere Doppler spettro per canali acustici subacquei ", *J. Commun. Netw.* , vol. 19, no. 3, pagg. 270–281, 2017.

[57] HR Mirhedayati e J.-F. Bousquet, "Un filtro variabile nel tempo per Doppler compensazione applicata all'OFDM acustico subacqueo, " *Sensors* , vol. 19, no. 1, p. 105, 2018.

[58] L. Wan, Z. Wang, S. Zhou, TC Yang e ZJ Shi, "Performance confronto tra metodi di stima in scala Doppler per acustica subacquea OFDM, " *J. Eletto. Comput. Eng.* , vol. 2012, aprile 2012, art. no. 703243.

[59] F. Traverso, T. Gaggero, E. Rizzuto e A. Trucco, " Spectral analysis del rumore acustico subacqueo irradiato da navi a passo controllabile eliche ", in *Proc. OCEANS-Genova* , maggio 2015, pp. 1–6.

[60] M. Barbeau, S. Blouin, G. Cervera, J. Garcia-Alfaro, B. Hasanzadeh e E. Kranakis, "Simulazione di comunicazioni subacquee con un colorato approssimazione e mobilità del rumore ", in *Proc. IEEE 28th Can. Conf. Eletto. Comput. Eng. (CCECE)* , maggio 2015, pagg. 1532–1537.

[61] PH Dahl, JH Miller, DH Cato e RK Andrew, "Underwater rumore ambientale, " *Acoust. Oggi* , vol. 3, no. 1, p. 23, 2007.

Pagina 19

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

[62] S. Banerjee e M. Agrawal, "sulle prestazioni di underwa- sistema di comunicazione nel rumore con statistiche di miscela gaussiana tic ", in *Proc. 20 ° Nat. Conf. Commun. (NCC)* , febbraio / marzo. 2014, pagg. 1–6.

[63] AZ Sha'ameri, YY Al-Aboosi e NHH Khamis, "Underwater caratteristiche del rumore acustico delle acque poco profonde nei mari tropicali ", in *Proc. Int. Conf. Comput. Commun. Eng.* , Settembre 2014, pagg. 80–83.

[64] Consiglio nazionale delle ricerche, *rumore oceanico e mammiferi marini* . Washington, DC, USA: Academics, 2003.

[65] M. Rahmati e D. Pompili, "UNISec: Inspection, Separation, and Class- sification of underwater acoustic noise point sources, " *IEEE J. Ocean. Eng.* , vol. 43, n. 3, pp. 777–791, luglio 2018.

[66] FA de Souza, R. Souza, G. Brante, M. Pellenz, F. Rosas e B. Chang, " Ottimizzazione della velocità di codifica per ritardi efficienti dal punto di vista energetico comunicazioni acustiche dell'acqua ", in *Proc. OCEANS-Genova* , maggio 2015, pagg. 1–4.

[67] P. Ponnaivaikko, K. Yassin, SK Wilson, M. Stojanovic e J. Holliday, "Ottimizzazione energetica con vincoli di ritardo sott'acqua reti acustiche ", in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBE-COM)* , dicembre 2013, pagg. 551–556.

[68] HU Yildiz, "Indagine sulla durata massima e sul ritardo minimo compromesso nelle reti di sensori subacquei, " *Int. J. Commun. Syst.* , vol. 32, no. 7, p. e3924, 2019.

[69] FA de Souza, BS Chang, G. Brante, RD Souza, ME Pellenz e F. Rosas, "Ottimizzazione del numero di salti e ritrasmissioni per l'energia efficienti comunicazioni acustiche subacquee multi-hop, " *IEEE Sensors J.* , vol. 16, n. 10, pp. 3927–3938, maggio 2016.

[70] P. Qarabaqi e M. Stojanovic, "Acoustic channel simulator", Tech. Rappresentante., 2013.

[71] Z. Wan, S. Liu, W. Ni e Z. Xu, "Un multi-livello efficiente dal punto di vista energetico algoritmo di routing clustering adattivo per sensore wireless subacqueo

[84] RTS da Rosa, GB Zaffari, PJD de Oliveira Evald, PLJ Drews e SS da Costa Botelho, "Verso il confronto di Metodi di filtro di Kalman per la localizzazione in ambienti sottomarini ", in *Proc. Latin Amer. Robot. Symp. (LARS), Symp brasiliano. Robot. (SBR)* , Novembre 2017, pagg. 1–6.

[85] C. Zheng, D. Sun, L. Cai e X. Li, "Localizzazione del nodo mobile in reti wireless subacquee ", *IEEE Access* , vol. 6, pagg. 17232–17244, 2018.

[86] S. Abougamil, M. Elmorsy e ES Elmallah, "Un algoritmo di factoring per la localizzazione probabilistica in reti di sensori sottomarini ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)* , maggio 2017, pagg. 1–7.

[87] S. Abougamil, M. Elmorsy e ES Elmallah, " Un grafico teorico approccio alla localizzazione in condizioni di incertezza ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)* , maggio 2018, pagg. 1–7.

[88] S. Kim e Y. Yoo, "Impact of MAC delay on AUV localization: Under- localizzazione dell'acqua basata sul segnale di modulazione di frequenza iperbolica, " *Sensors* , vol. 18, no. 2, p. 356, 2018.

[89] H. Huang e YR Zheng, "Localizzazione dei nodi con assistenza AoA in reti di sensori subacquei multi-hop, " *Ad Hoc Netw.* , vol. 78, p. 32–41, Settembre 2018.

[90] J. Gao, X. Shen, R. Zhao, H. Mei e H. Wang, "A double rate local- Algoritmo di izzazione con un ancoraggio per acustica subacquea multi-hop reti ", *Sensors* , vol. 17, n. 5, p. 984, 2017.

[91] J. Luo, L. Fan, S. Wu e X. Yan, "Ricerca sugli algoritmi di localizzazione basata sulla comunicazione acustica per reti di sensori sottomarini, " *Sen- sors* , vol. 18, no. 1, p. 67, 2018.

[92] E. Dubrovinskaya, R. Diamant e P. Casari, "Anchorless underwater localizzazione acustica ", in *Proc. 14 ° Workshop Posizionamento, Navigat. Commun. (WPNC)* , ottobre 2017, pagg. 1–6.

[93] A. Toky, RP Singh e S. Das, "Localizzazione a grana grossa in sott'acqua reti di sensori acustici wireless ", in *Applications of Computing e*

reti", *Cluster Comput.*, pagg. 1–10, marzo 2018.

[72] D. Wang, R. Xu e X. Hu, "Schema di aggregazione dei dati ad alta efficienza energetica per reti di sensori acustici subacquei", in *Proc. WUWNet*, 2015, Arte. no. 44.

[73] H. Yin, J. Li, Y. Chai e SX Yang, "A survey on distribuita comp rilevamento pressato: teoria e applicazioni", *Frontiers Comput. Sci.*, vol. 8, no. 6, pagg. 893–904, 2014.

[74] N. Javaid, S. Cheema, M. Akbar, N. Alrajeh, MS Alabed e N. Guizani, "Routing adattivo basato sul consumo energetico bilanciato per IoT che abilita WSN subacquee", *IEEE Access*, vol. 5, pagg. 10040–10051, 2017.

[75] H. Yang, Y. Zhou, Y.-H. Hu, B. Wang e S.-Y. Kung, "Cross-layer design per massimizzare la durata della rete in sensori wireless subacquei reti sor", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, maggio 2018, pagg. 1–6.

[76] L. Jing, C. He, J. Huang e Z. Ding, "Gestione energetica e potere allocazione per la rete di sensori acustici sottomarini", *IEEE Sensors J.*, vol. 17, n. 19, pp. 6451–6462, ottobre 2017.

[77] JJ Kartha e L. Jacob, "Raccolta dati in rete a vita in reti di sensori subacquei per applicazioni che tollerano i ritardi", *Sādhanā*, vol. 42, n. 10, pp. 1645–1664, ottobre 2017.

[78] S. Rani, SH Ahmed, J. Malhotra e R. Talwar, "Catena di efficienza energetica protocollo di instradamento basato su reti di sensori wireless subacquei", *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 92, p. 42–50, agosto 2017.

[79] F. Bouabdallah, C. Zidi e R. Boutaba, "Joint routing and energy gestione in reti di sensori acustici subacquei", *IEEE Trans. Netw. Gestione del servizio*, vol. 14, n. 2, pp. 456–471, giugno 2017.

[80] JJ Kartha, A. Jabbar, A. Baburaj e L. Jacob, "Durata massima instradamento nelle reti di sensori sottomarini che utilizzano il sink mobile per applicazioni tolleranti", in *Proc. TENCON IEEE Regione Conf.*, Novembre 2015, pagg. 1–6.

[81] Z. Zhou, J.-H. Cui e S. Zhou, "Localization for large scale underwater reti di sensori", in *Proc. 6<sup>o</sup> Int. IFIP-TC6 Conf. Rete sensore ad hoc, Rete wireless, Next Gener. Internet (NETWORKING)*. Berlino, Germania: Springer-Verlag, pagg. 108–119, 2007.

[82] Z. Zhou, Z. Peng, J.-H. Cui, Z. Shi e A. Bagtzoglou, "Scalable localizzazione con previsione della mobilità per reti di sensori subacquei", in *Proc. IEEE 27th Conf. Comput. Commun. INFOCOM*, aprile 2008, pagg. 2198–2206.

[83] TC Austin, RP Stokely e KM Sharp, "PARADIGM: A buoy-based sistema di navigazione e tracciamento AUV", in *Proc. OCEANS MTS / IEEE Conf. Exhib. Conf.*, vol. 2, settembre 2000, pagg. 935–938.

*Communication Technologies*, G. Deça, O. Kaiwartya, P. Vashisth e P. Røthe, Eds. Singapore: Springer, 2018, pagg. 187–196.

[94] X. Tan, Z. Sun e IF Akyildiz, "Rete di sensori sottomarini wireless funziona: sistemi di comunicazione basati su MI per applicazioni sottomarine", *Antenne IEEE Propag. Mag.*, vol. 57, n. 4, pagg. 74–87, agosto 2015.

[95] AR Silva e M. Moghaddam, "Progettazione e implementazione di senza fili a induzione magnetica a bassa e media portata reti di sensori a terra", *IEEE Trans. Strum. Mis.*, vol. 65, n. 4, pp. 821–835, aprile 2016.

[96] TE Abrudan, O. Kypris, N. Trigoni e A. Markham, "Impact of rocce e minerali sulla comunicazione magneto-induttiva sottomarina e localizzazione", *IEEE Access*, vol. 4, pagg. 3999–4010, 2016.

[97] S.-C. Lin, AA Alshehri, P. Wang e IF Akyildiz, "Magnetic localizzazione basata sull'induzione in sottomarini wireless distribuiti in modo casuale reti di sensori", *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pagg. 1454–1465, Ottobre 2017.

[98] IF Akyildiz, Z. Sun e MC Vuran, "Tecniche di propagazione del segnale per le reti di comunicazione sottomarine senza fili", *Phys. Commun.*, vol. 2, no. 3, p. 167–183, 2009.

[99] Z. Zhao, SS Ge, W. He e YS Choo, "Modellazione e simulazione di comunicazione wireless a induzione magnetica per un ormeggio in acque profonde sistema", in *Proc. IEEE Int. Conf. Inf. Autom.*, Giugno 2012, pagg. 373–378.

[100] S. Kisseleff, IF Akyildiz e WH Gerstacker, "Throughput of le reti di sensori sottomarini wireless basate sull'induzione magnetica: Tecniche di ottimizzazione chiave", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, n. 12, pp. 4426–4439, dicembre 2014.

[101] JJ Sojodehi, PN Wrathall e DF Dinn, "Magneto-inductive (MI) comunicazioni", in *Proc. MTS / IEEE Oceans Odyssey: Conf.*, vol. 1, Novembre 2001, pagg. 513–519.

[102] MC Vuran, A. Salam, R. Wong e S. Irmak, "Internet of underground cose nell'agricoltura di precisione: aspetti architettonici e tecnologici", *Ad Hoc Netw.*, vol. 81, p. 160–173, dicembre 2018.

[103] IF Akyildiz, P. Wang e Z. Sun, "Realizing underwater communication zione tramite induzione magnetica", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, n. 11, pagg. 42–48, novembre 2015.

[104] S. Kisseleff, X. Chen, IF Akyildiz e W. Gerstacker, "Localization di un nodo target silenzioso nel sottosuolo wireless basato sull'induzione magnetica reti di sensori", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, maggio 2017, pagg. 1–7.

[105] X. Tan e Z. Sun, "Localizzazione di interni consapevole dell'ambiente che utilizza induzione netica", in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, Dicembre 2015, pagg. 1–6.

Pagina 20

M. Jouhari et al. : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoT

[106] X. Tan, Z. Sun e P. Wang, "Sulla localizzazione per l'induzione magnetica-reti di sensori wireless basate su condutture", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, giugno 2015, pagg. 2780–2785.

[107] N. Gaoing e J.-F. Bousquet, "Una bobina magneto-induttiva compatta progettazione di antenne per comunicazioni subacquee", in *Proc. Int. Conf. Rete subacquea Syst.*, 2017, art. no. 19.

[108] AR Silva e M. Moghaddam, "Selezione della frequenza operativa per sensore sottomarino wireless basato su induzione magnetica a bassa potenza reti", in *Proc. IEEE Sensors Appl. Symp. (SAS)*, aprile 2015, pagg. 1–6.

[109] H. Guo e Z. Sun, "Aumento della capacità di induzione magnetica comunicazione tramite MIMO coil-array", in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, dicembre 2016, pagg. 1–6.

[110] Z. Sun, IF Akyildiz, S. Kisseleff e W. Gerstacker, "in aumento la capacità delle comunicazioni di induzione magnetica in RF sfidate ambienti", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, n. 9, pagg. 3943–3952, Settembre 2013.

[111] L. Erdogan e J.-F. Bousquet, "Estensione dinamica della larghezza di banda della bobina per comunicazione magneto-induttiva subacquea", in *Proc. Antenne IEEE Propag. Soc. Int. Symp. (APSURS)*, luglio 2014, pagg. 1576–1577.

[112] Z. Zhang, E. Liu, X. Qu, R. Wang, H. Ma e Z. Sun, "Connectivity di reti ad hoc basate sull'induzione magnetica", *IEEE Trans. senza fili Commun.*, vol. 16, n. 7, pp. 4181–4191, luglio 2017.

[113] AR Silva e M. Moghaddam, "Adattamento strategico della frequenza per Reti di sensori sottomarini wireless basati sull'induzione magnetica", in *Proc. Annu. IEEE Syst. Conf. (SysCon)*, aprile 2015, pagg. 758–765.

[114] B. Gulbahar e OB Akan, "Un modello teorico di comunicazione e analisi di canali wireless magneto-induttivi subacquei nels", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, n. 9, pagg. 3326–3334, Settembre 2012.

[115] H. Guo, Z. Sun e P. Wang, "Modellazione del canale di mi sott'acqua comunicazione tramite antenna a bobina tridirezionale", in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, dicembre 2014, pagg. 1–6.

[116] RRA Syms, E. Shamonina e L. Solymar, "Positivo e negativo rifrazione delle onde magnetoinduttive in due dimensioni", *Eur. Phys. J. B-Condens. Matter Complex Syst.*, vol. 46, n. 2, pagg. 301–308, 2005.

[117] N. Ahmed, J. Hoyt, A. Radchenko, D. Pommerenke e YR Zheng, "Un ricetrasmittente magneto-induttivo multi-bobina per sensori wireless a basso costo sor networks", in *Proc. Underwater Commun. Netw. (UComms)*, 2014, pagg. 1–5.

[118] J. Zhou e J. Chen, "Stima della distanza massima del modello di campo lontano per la comunicazione del campo magnetico sottomarino", in *Proc. IEEE 7th Annu. Comput. Commun. Workshop Conf. (CCWC)*, gennaio 2017, pagg. 1–5.

[119] Y. Wang, A. Dobbin e J.-F. Bousquet, "Un sottofondo compatto a bassa potenza modem magneto-induttivo ad acqua", in *Proc. 11th ACM Int. Conf. Sotto-acqua Netw. Syst.*, 2016, art. no. 14.

[128] N. Ahmed, YR Zheng e D. Pommerenke, "Modello teorico-di canali multi-bobina nella comunicazione magneto-induttiva a campo vicino zione", in *Proc. IEEE 82nd Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, settembre 2015, pagg. 1–5.

[129] H. Guo, Z. Sun, J. Sun e NM Litchinitser, "M z I: Channel modellazione per comunicazione a induzione magnetica potenziata da metamateriali zioni", *IEEE Trans. Antenne Propag.*, vol. 63, n. 11, pagg. 5072–5087, Novembre 2015.

[130] H. Guo e Z. Sun, "Comunicazione M z I: dalla modellazione teorica a design pratico", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, maggio 2016, pagg. 1–6.

[131] Z. Sun e H. Guo, "Demo abstract: Prototyping M z I comunica-sistema di zione per reti sottomarine e sottomarine", in *Proc. IEEE Conf. Comput. Commun. Workshop (INFOCOM WKSHPS)*, maggio 2017, pagg. 962–963.

[132] H. Guo, Z. Sun e C. Zhou, "Progettazione e implementazione pratiche di comunicazione di induzione magnetica potenziata da metamateriali", *IEEE Access*, vol. 5, pagg. 17213–17229, 2017.

[133] PK Sharma, D. Bhatia e RS Meena, "Metamaterial enhanced comunicazione indotta dalla magnetizzazione per applicazioni wireless", in *Proc. Int. Conf. Inf., Commun., Instrum. Controllo (ICICIC)*, 2017, pagg. 1–5.

[134] X. Tan e Z. Sun, "Sulla stima del canale sensibile all'ambiente per reti di sensori wireless che utilizzano l'induzione magnetica", in *Proc. IEEE Conf. Comput. Commun. Workshop (INFOCOM WKSHPS)*, maggio 2017, pp. 217–222.

[135] S. Kisseleff, IF Akyildiz e W. Gerstacker, "Beamforming for sistemi di trasferimento di potenza wireless basati su induzione magnetica con multiple ricevitori", in *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, Dicembre 2014, pagg. 1–7.

[136] MRV Moghadam e R. Zhang, "Posizionamento e distribuzione dei nodi ottimizzazione del beamforming magnetico per il trasferimento di potenza wireless", *IEEE Trans. Segnale Inf. Processi. Netw.*, vol. 4, no. 2, pp. 264–279, giugno 2018.

[137] N. Tal, Y. Morag e Y. Levron, "Progettazione di trasmettitori magnetici con utilizzo efficiente della potenza reattiva per la comunicazione induttiva e trasferimento di potenza wireless", in *Proc. IEEE Int. Conf. Microw., Commun., Antenne Electron. Syst. (COMCAS)*, novembre 2015, pagg. 1–5.

[138] S. Kisseleff, IF Akyildiz e WH Gerstacker, "Magnetic informazioni wireless simultanee basate su induzione e trasferimento di potenza per singole informazioni e più ricevitori di alimentazione", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, n. 3, pagg. 1396–1410, marzo 2017.

[139] S.-H. Kim, Y.-S. Lim e S.-J. Lee, "basato sull'accoppiamento risonante magnetico sistema di trasferimento di potenza wireless con comunicazione in banda", *J. Semi-cond. Technol. Sci.*, vol. 13, n. 6, pagg. 562–568, 2013.

[140] MRV Moghadam e R. Zhang, "Trasferimento di potenza wireless multiutente

[120] JI Agbinya e M. Masihpour, "Equazioni di potenza e prestazioni di capacità mance of magnet induction body area network nodes", in *Proc. 5 ° Int. Conf. Biomed a banda larga. Commun.* , 2010, pagg. 1–6.

[121] H. Nguyen, JI Agbinya e J. Devlin, "Caratterizzazione del canale e budget di collegamento della configurazione mimo in comunicazione magnetica a campo vicino zione", *Int. J. Electron. Telecommun.* , vol. 59, n. 3, pagg. 255–262, 2013.

[122] H.-J. Kim, J. Park, K.-S. Oh, JP Choi, JE Jang e JW Choi, " Near-comunicazione MIMO di induzione magnetica del campo utilizzando eterogeneo array di antenne a loop multipolare per una trasmissione di velocità dati più elevata, " *IEEE Trans. Antenne Propag.* , vol. 64, n. 5, pp. 1952-1962, maggio 2016.

[123] H.-J. Kim e J.-W. Choi, " Comunicazioni MIMO magnetiche senza crosstalk catione utilizzando un array di antenne eterogeneo ", in *Proc. URSI Asia-Pacific Radio Sci. Conf. (URSI AP-RASC)* , 2016, pagg. 1–3.

[124] Z. Sun e IF Akyildiz, "Uso della comunicazione wireless sotterranea induzione magnetica ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.* , Giugno 2009, pagg. 1–5.

[125] Z. Sun e IF Akyildiz, "Comunicazioni di induzione magnetica per reti di sensori sotterranee senza fili, " *IEEE Trans. Antenne Propag.* , vol. 58, n. 7, pp. 2426–2435, luglio 2010.

[126] S. Kisseleff, B. Sackenreuter, IF Akyildiz e W. Gerstacker, " On capacità di trasmissione attiva in modalità wireless basata su induzione magnetica reti di sensori a terra ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)* , Giugno 2015, pagg. 6541–6546.

[127] M. Masihpour, DR Franklin e M. Abolhasan, "Multihop relay tecniche per l'estensione del raggio di comunicazione in campo magnetico vicino sistemi di comunicazione a induzione, " *J. Netw.* , vol. 8, no. 5, pagg. 999–1011, 2013.

96898

VOLUME 7, 2019

Pagina 21

M. Jouhari *et al.* : Reti di sensori wireless subacquee: un'indagine sulle tecnologie abilitanti, i protocolli di localizzazione e IoUT

MOHAMMED JOUHARI ha ricevuto il B.Sc. laurea in fisica e M.Sc. laurea in informatica matics, segnali e telecomunicazioni da Facoltà di Scienze, Università Mohammed V, Rabat, Marocco, rispettivamente nel 2011 e nel 2013. Attualmente sta perseguendo il dottorato di ricerca. laurea in informatica informatica con la Ibn Tofail University. Il suo cagnolino l'affitto si concentra sull'aumento dell'orario di lavoro delle reti di sensori sottomarini riducendo il consumo energetico dei nodi sensori. Lui è anche interessato alle reti di sensori wireless e ha un background nella promozione del segnale cessazione e teoria dei giochi.

KHALIL IBRAHIMI ha ricevuto il B.Sc. laurea in scienze matematiche, il M.Sc. laurea in ingegneria neering, telecomunicazioni e multimedia da la Facoltà di Scienze, Mohammed V University, Rabat, Marocco, nel 2003 e nel 2005, rispettivamente tively, e il dottorato di ricerca. laurea in scienze informatiche dall'Università di Avignone, Francia, e l'Università Mohammed V, Marocco, nel 2009. Nel 2010 è stato Assistant Professor (ATER part-time) con CERI / LIA, Università di Avignone.

Dal 2010 al 2015 è stato ricercatore presso la Facoltà di Scienze, Università Ibn-Tofail, Marocco, dove è attualmente un Asso-Professore associato con Modellazione dei sistemi di informazione e comunicazione tems (MISC) ed è responsabile della sicurezza del gruppo di ricerca e modellazione dei sistemi di comunicazione (SMCS). I suoi interessi di ricerca includere una particolare valutazione delle prestazioni, l'allocazione delle risorse reti di trasmissione (3G, Beyond 3G e 4G), social network, sensori subacquei reti sor (UWSN), radio cognitiva, sicurezza e reti di sensori. egli è un membro IEEE ComSoc. Ha servito come revisore / membro TPC per molte conferenze internazionali (Globecom, ICC, MSWIM e WiMob) e riviste come l' *European Journal of Operational Research* , l' *Inter-National Journal of Communication Systems* , il *Journal of Computing e la tecnologia dell'informazione* , le *reti ad hoc* , i *computer Journal* e *IEEE S ENSORS J OURNAL* . Riceve il miglior POSTER

tramite accoppiamento risonante magnetico: analisi delle prestazioni, controllo della carica, e caratterizzazione della regione di potenza, " *IEEE Trans. Segnale Inf. Processi. Netw.* , vol. 2, no. 1, pagg. 72–83, marzo 2016.

[141] X. Li, C. Tang, X. Dai, P. Deng e Y. Su, "Un induttivo e capacitivo itive trasmissione parallela combinata di alimentazione e dati per wireless sistemi di trasferimento di potenza, " *IEEE Trans. Power Electron.* , vol. 33, n. 6, pp. 4980–4991, giugno 2018.

[142] G. Yang, MRV Moghadam e R. Zhang, "Magnetic beamforming per il trasferimento di potenza wireless ", in *Proc. IEEE Int. Conf. Acust., Discorso Processo del segnale. (ICASSP)* , marzo 2016, pagg. 3936–3940.

[143] K. Kim, H.-J. Kim e J.-W. Choi, " Beamforming magnetico con modello di bobina di accoppiamento per alta efficienza e wireless a lunga distanza trasferimento di potenza ", in *Proc. IEEE Wireless Power Transf. Conf. (WPTC)* , Maggio 2017, pagg. 1–4.

[144] JI Agbinya e S. Lal, "Un induttivo a campo vicino ad alta capacità sistema di comunicazione MISO accoppiato per Internet of Things ", in *Proc. 7th Int. Conf. Broadband Commun. Biomed. Appl.* , Novembre 2011, pagg. 112–117.

[145] C.-C. Kao, Y.-S. Lin, G.-D. Wu e C.-J. Huang, "Un esauriente studio sull'Internet delle cose sottomarine: applicazioni, sfide e modelli di canale, " *Sensors* , vol. 17, n. 7, p. 1477, 2017.

[146] A. Prasad, KA Mamun, FR Islam e H. Haqva, "Smart water quality sistema di monitoraggio ", in *Proc. 2nd Asia-Pacific World Congr. Comput. Sci. Eng. (APWC CSE)* , 2015, pagg. 1–6.

[147] L. Gabrielli, M. Pizzichini, S. Spinsante, S. Squartini e R. Gavazzi, " Reti idriche intelligenti per città intelligenti: un prototipo sostenibile dimostra tor, " in *Proc. Euro. Conf. Netw. Commun. (EuCNC)* , 2014, pagg. 1-5.

HAMIDOU TEMBINE ha conseguito la laurea magistrale in matematica applicata da École Polytechnique, Palaiseau, Francia, il master in teoria ed economia dei giochi e il dottorato di ricerca. laurea in informatica all'INRIA e al Università di Avignone, Francia. È stato un Ricercatore in visita presso l'Università di California a Berkeley, CA, USA, University of McGill, Montreal, Canada, Università dell'Illinois a Urbana-Champaign, Illinois, USA, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Svizzera, e l'Università di Wisconsin-Madison, Madison, WI, USA. È stato il co-organizzatore di numerosi incontri scientifici sulla teoria dei giochi in rete, comunicazione wireless nicazioni e sistemi energetici intelligenti. È autore del libro *Distributed Apprendimento strategico per ingegneri wireless* (CRC Press, Taylor & Francis 2012), che ha ricevuto il Book Award 2014, ed è coautore del libro *Teoria dei giochi e apprendimento per le reti wireless* (Elsevier Academic Stampa). Detiene oltre 150 pubblicazioni scientifiche tra cui riviste, ters, riviste e conferenze. I suoi principali interessi di ricerca includono l'apprendimento, evoluzione e giochi. È un Next Einstein Fellow. È stato membro del TPC ber e anche revisore di numerose riviste e conferenze internazionali. Nel 2014 ha ricevuto il premio IEEE ComSoc Outstanding Young Researcher Premio per le sue promettenti attività di ricerca a beneficio della società. Ha ricevuto oltre dieci migliori premi cartacei nelle applicazioni del gioco teoria.

JALEL BEN-OTHTMAN ha ricevuto il B.Sc. e M.Sc. lauree in informatica presso l'università versità di Pierre et Marie Curie, Parigi, Francia, rispettivamente nel 1992 e nel 1994 e il dottorato di ricerca. laurea presso l'Università di Versailles, Francia, nel 1998. È stato nominato IEEE COMSOC Illustre Docente, dal 2015 al 2018. Ha stato professore ordinario presso l'Università di Parigi 13, dal 2011. È anche membro della L2S Laboratorio, CentraleSupélec. Attualmente è il IEEE VTS Distinguished Lecturer, dove ha fatto diversi tour in tutto il mondo. I suoi interessi di ricerca includono l'area del wireless ad hoc e dei sensori reti, VANET, IoT, valutazione delle prestazioni e sicurezza nel wireless reti in generale. È stato membro dei servizi tecnici IEEE Board, dal 2016. Ha ricevuto la Comunicazione IEEE COMSOC cation Software Technical Committee Recognition Award, nel 2016, e il IEEE Computer Society Meritorious Service Award, nel 2016. È un Golden Membro principale della IEEE Computer Society, il servizio eccezionale AHSN and Contribution Award, nel 2018, e il VEHCOM Fabio Neri Award, nel 2018. Attualmente è membro del comitato direttivo dell'IEEE T RANSACTION ON M TENTE COMPUTING (IEEE TMC), un editoriale Consigliere di Amministrazione di numerose riviste IEEE N ETWORKS , IEEE C OMMUNICATIONS L ETTERS , *Journal of Communications and Networks (JCN)*, l' *International Journal of Computer Systems (UCS)*, il *Security and Privacy Journal (SPY)* e IEEE S ENSORS J OURNAL . Ha anche servito come copresidente TPC per le conferenze IEEE Globecom e ICC e altre conferenze, come WCNC, IWCNC, VTC, ComComAp, ICNC, WCSP, Q2SWinet, P2MNET, e WLN. Era il presidente dell'IEEE Ad hoc e delle reti di sensori

Premio della conferenza MSWIM'13 e Premio per la migliore carta del Workshop WINCOM'13. È stato presidente di RAWSN 2013 e RAWSN Seminar 2016, il presidente locale di WINCOM'17, il co-organizzatore locale di IWCMC'19 e il presidente generale di WCOS'16.

Comitato tecnico, dal 2016 al 2018. In precedenza è stato Vice Presidente e Segretario di questo comitato.