

## Reti di sensori wireless subacquee: una nuova sfida per sistemi basati sul controllo della topologia

RODOLFO WL COUTINHO e AZZEDINE BOUKERCHE, Università di Ottawa  
LUIZ FM VIEIRA e ANTONIO AF LOUREIRO, Università Federale del Minas Gerais

Le reti di sensori wireless subacquei (UWSN) apriranno la strada a una nuova era di monitor subacquei. applicazioni di ingaggio e attuazione. Il panorama immaginato delle applicazioni UWSN ci aiuterà a saperne di più sui nostri oceani, così come su ciò che si trova sotto di loro. Ci si aspetta che cambino l'attuale reale città in cui non più del 5% del volume degli oceani è stato osservato dagli esseri umani. Tuttavia, per abilitare grandi implementazioni di UWSN, soluzioni di rete per una raccolta dati subacquea efficiente e affidabile devono essere studiati e proposti. In questo contesto, l'uso di algoritmi di controllo della topologia per una tuta un'organizzazione capace, autonoma e al volo della topologia UWSN potrebbe mitigare gli effetti indesiderati delle comunicazioni wireless subacquee e di conseguenza migliorare le prestazioni dei servizi di rete e protocolli progettati per UWSN. Questo articolo presenta e discute le proprietà intrinseche, i potenziali, e le attuali sfide della ricerca sul controllo della topologia nelle reti di sensori sottomarini. Proponiamo di classificare algoritmi di controllo della topologia basati sulla metodologia principale utilizzata per modificare la topologia della rete. Essi possono essere classificati in tre gruppi principali: controllo dell'alimentazione, gestione della modalità dell'interfaccia wireless e tecniche basate sulla città assistita. Utilizzando la classificazione proposta, esaminiamo lo stato dell'arte attuale e presentare una discussione approfondita delle soluzioni di controllo della topologia progettate per le UWSN.

19

Concetti CCS: • **Generale e riferimento** → **Indagini e panoramiche** ; • **Reti** → **Analisi topologica e generazione** ; *Dinamiche di rete* ; *Reti ad hoc* ; Progettazione del protocollo di rete;

Parole chiave e frasi aggiuntive: reti di sensori subacquei, controllo della topologia, architetture, modelli e algoritmi

### Formato di riferimento ACM:

Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2018. Sott'acqua Reti di sensori wireless: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia. *ACM Comput. Surv.* 51, 1, articolo 19 (gennaio 2018), 36 pagine.  
<https://doi.org/10.1145/3154834>

## 1. INTRODUZIONE

Le reti di sensori wireless subacquei (UWSN) stanno attirando una crescente attenzione dalle comunità scientifiche e industriali (Luo et [al.2017](#)). Ciò è dovuto al suo potenziale

Questo lavoro è stato parzialmente supportato da NSERC CREATE TRANSIT, NSERC DIVA Strategic Research Network, Canada Programma delle cattedre di ricerca, CAPES, CNPq e FAPEMIG.

Indirizzi degli autori: RWL Coutinho e A. Boukerche, School of Electrical Engineering and Computer Science, University of Ottawa, 800 King Edward Ave. Ottawa, Ontario, K1N 6N5, Canada; e-mail: rodolfo.coutinho@uottawa.ca, boukerch@site.uottawa.ca; LFM Vieira e AAF Loureiro, Dipartimento di informatica, Università federale sità di Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasile; email: {lfvieira, loureiro}@dcc.ufmg.br.

Il permesso di fare copie digitali o cartacee di tutto o parte di questo lavoro per uso personale o in classe è concesso gratuitamente a condizione che le copie non siano prodotte o distribuite a scopo di lucro o vantaggio commerciale e che le copie rechino questo avviso e la citazione completa in prima pagina. I diritti d'autore per i componenti di questo lavoro di proprietà di altri che non ACM devono essere rispettati. È consentito l'estrazione con credito. Per copiare in altro modo, o ripubblicare, pubblicare sui server o ridistribuire agli elenchi, richiede previa autorizzazione specifica e / oa pagamento. Richiedi i permessi da [permissions@acm.org](https://doi.org/10.1145/3154834).

© 2018 ACM 0360-0300 / 2018/01-ART19 \$ 15,00

<https://doi.org/10.1145/3154834>

---

Pagina 2

19: 2

RWL Coutinho et al.

per la raccolta di dati (quasi) in tempo reale tramite i tradizionali sistemi di monitoraggio subacqueo su strumenti collegati, stazioni di monitoraggio cablate o nodi di sensori senza comunicazione capacità. Un UWSN è composto da nodi di sensori subacquei, che sono dotati di sensori, capacità di elaborazione, archiviazione e comunicazione wireless subacquea che agiscono in modo collaborativo monitorare le regioni sottomarine e gli eventi di interesse. L'uso del modem acustico subacqueo consente a questi dispositivi di comunicare in modalità wireless tra loro per funzionare sott'acqua in tempo reale monitoraggio e attuazione, riconfigurazione del sistema in linea e rilevamento e rapporto di guasti nazionali e dispositivi malfunzionanti. Il progresso di questa tecnologia è fondamentale nel colmare il divario di conoscenza sui nostri oceani, nonché sulla vita, le risorse e gli eventi che ne derivano giacciono sotto di loro. Si prevede che gli UWSN rivoluzioneranno le applicazioni nei settori scientifico, commerciale, e domini militari. Un elenco non esaustivo di applicazioni UWSN include il monitoraggio di vita marina, contenuto inquinante, processi geologici sul fondo dell'oceano, giacimenti petroliferi, clima e tsunami e maremoti; raccolta di dati oceanografici; campionamento oceanico e offshore; navigazione assistenza; riconoscimento miniera; e applicazioni di sorveglianza tattica.

Lo sviluppo di implementazioni su larga scala di UWSN è progettato per monitorare vaste aree nell'oceano. Tuttavia, la realizzazione di questa visione dipenderà dalla progettazione di efficienti e servizi e protocolli di rete subacquei affidabili. Sfortunatamente, la vasta conoscenza di la progettazione di reti di sensori wireless a radiofrequenza (WSN), acquisita nel corso di decenni di ricerca, non può essere applicato direttamente alla progettazione di protocolli di rete per UWSN. Questo è per le particolari caratteristiche del canale acustico subacqueo, come lungo e variabile ritardo di propagazione e larghezza di banda ridotta e proprietà fisiche dell'ambiente acquatico, come la temperatura dell'acqua e i sedimenti del fondo marino. In effetti, la progettazione di protocolli di rete per Gli UWSN devono affrontare molte nuove sfide che non sono nemmeno osservate nelle WSN tradizionali. L'uso di il canale acustico subacqueo comporta una capacità di larghezza di banda limitata, una propagazione elevata e variabile ritardo, perdita temporanea del percorso, rumore elevato, dissolvenza multipath, zone d'ombra, diffusione Doppler, ed elevati costi energetici di comunicazione. Inoltre, la comunicazione wireless subacquea soffre dalla qualità del collegamento che varia nel tempo, poiché è compromessa dalle variazioni della temperatura dell'acqua che cambiare il modo in cui il suono viene rifratto e i sedimenti del fondale (cioè la morfologia del mare parte inferiore).

In questo articolo, le proprietà intrinseche, le attuali sfide della ricerca e il potenziale della topologia viene presentato il controllo in reti di sensori subacquei. Classifichiamo algoritmi di controllo della topologia, in base alla loro metodologia principale utilizzata per modificare la topologia di rete, in tre principali gruppi: controllo dell'alimentazione, gestione della modalità dell'interfaccia wireless e mobilità assistita tecniche. Inoltre, esaminiamo l'attuale ricerca all'avanguardia nelle soluzioni di controllo topologico progettato per queste reti. Presentiamo una discussione approfondita sulle sfide, i vantaggi, e svantaggi del controllo dell'alimentazione, della gestione della modalità dell'interfaccia wireless e dell'assistenza alla mobilità tecniche utilizzate per progettare algoritmi di controllo topologico per reti di sensori acustici subacquei. Per quanto ne sappiamo, questo è il primo lavoro dedicato all'organizzazione, alla classificazione e presentando una revisione approfondita del controllo della topologia nelle UWSN.

L'articolo è organizzato come segue. Nella sezione 2, sottolineiamo due fattori critici che fanno topologia di rete delle reti di sensori subacquei un processo altamente dinamico. Nella sezione 3, noi classificare le soluzioni di controllo della topologia progettate per gli UWSN in diverse categorie. All'interno di ciascuno categoria, discutiamo i pro e i contro generali relativi alle caratteristiche degli UWSN e presentare le soluzioni rappresentative. Nella sezione 4, discutiamo e esaminiamo la potenza di trasmissione–studi di controllo topologico basati su proposte per le UWSN. Nella sezione 5, discutiamo la proposta soluzioni che impiegano la gestione dell'interfaccia wireless dei nodi sottomarini per controllo della topologia. Nella sezione 6, esaminiamo le proposte per il controllo della topologia negli UWSN che utilizzano la mobilità assistita di alcuni nodi come tecnica principale per cambiare la topologia. Alcuni

Fig. 1. (a) Traiettorie di quattro diversi galleggianti RAFOS rilasciati nella corrente sottomarina meridionale del Mediterraneo della penisola iberica dal 1993 al 1994 (WHOI [2016](#)). (b) Spostamento dei nodi sottomarini modellati secondo il modello MCM (Caruso et al. [2008](#)).

le future direzioni di ricerca nel campo sono presentate nella Sezione [7](#). Presentiamo le nostre osservazioni finali in Sezione [8](#).

## 2 PERCHÉ E PERCHÉ DI TOPOLOGIE DINAMICHE NELLE UWSNS

La topologia delle reti di sensori sottomarini cambia costantemente con il passare del tempo. In questa sezione, discutiamo come la mobilità involontaria dei nodi sottomarini e lo spazio-temporale la qualità variabile dei collegamenti acustici può cambiare frequentemente la topologia di un UWSN.

### 2.1 Mobilità involontaria dei nodi sottomarini

Nelle reti di sensori subacquei non collegati, i nodi dei sensori subacquei si muoveranno liberamente secondo alle correnti dell'oceano, effettuando la raccolta dei dati spazio-temporali. Questa mobilità involontaria diffonderà nodi sottomarini col passare del tempo. Di conseguenza, alcuni dei collegamenti acustici tra i nodi che erano presenti nella topologia iniziale dell'UWSN potrebbero non essere presenti in un determinato punto nel futuro. Infatti, a causa della mobilità involontaria dei nodi sottomarini, le partizioni di rete in un UWSN potrebbe aver luogo dopo lo spiegamento dei nodi sottomarini.

La mobilità nell'ambiente acquoso è molto particolare. Si riferisce a diversi aspetti ambientali tori, come temperatura dell'acqua, correnti, condizioni al contorno, forze atmosferiche e fondale topografia (Zhou et al. [2011](#)). La figura [1](#) illustra due modelli di mobilità involontaria. Figura [1](#)(un) mostra le traiettorie di quattro diversi galleggianti RAFOS. Figura [1](#)(b) raffigura un'istanza del meandering la mobilità attuale modello (MCM) (Caruso et al. [2008](#)). Nel modello MCM, la mobilità di galleggianti e drifter subacquei sono influenzati da correnti e vortici sottomarini serpeggianti. A partire dall'analisi delle tracce di mobilità di 46 galleggianti, Rienzo et al. ([2016](#)) ha osservato che, simile ai risultati nella Figura [1](#), alcuni nodi di sensori subacquei si muovono seguendo una traiettoria dritta, mentre altri potrebbero rimanere intrappolati nei flussi e rimanere in movimento in loop.

### 2.2 Qualità variabile spazio-temporale dei collegamenti acustici subacquei

Anche la topologia di una rete sottomarina cambierà su base ricorrente a causa dello spazio variabilità porale della qualità dei collegamenti acustici. La loro qualità dipende da diversi fattori, come la profondità dei nodi comunicanti, la temperatura dell'acqua, i sedimenti del fondo marino (cioè la morfologia del fondo del mare) dell'area considerata e il rumore ambientale (termico, vento, turbolenza e

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Fig. 2. (a) Framework di controllo topologico. (b) Quadro generale del controllo della topologia nelle reti sottomarine.

attività di spedizione). Pertanto, se i collegamenti acustici hanno la stessa configurazione (ad es. Trasmissione livello di potenza), potrebbero funzionare in modo diverso o addirittura essere in calo in alcuni momenti.

Il fatto precedente è discusso in Guerra et al. (2009a). Gli autori presentano il segnale di attenuazione delle onde acustiche trasmesse nella costa nord-orientale della regione italiana della Calabria durante due diverse stagioni dell'anno (estate e inverno). Considerando un elevato assorbimento del segnale è stato notato più vicino alla superficie nelle trasmissioni effettuate nel mese di agosto, è notevolmente inferiore per trasmissioni nella stessa posizione e configurazione, ma eseguite a gennaio. In questo scenario, quindi, un collegamento acustico tra il trasmettitore e un nodo più vicino situato in una profondità sopra 100 m esiste a gennaio ma è assente ad agosto.

Pu et al. (2015) hanno condotto un esperimento in mare in cui hanno osservato un aspetto spaziale e temporale effetto dell'incertezza del raggio di comunicazione nei collegamenti acustici subacquei. Questo effetto di incertezza è stato spiegato in base alla natura variabile nel tempo del vento, della corrente, del rumore dei mammiferi marini e attività create dall'uomo. Inoltre, hanno percepito un rapporto di perdita di pacchetti eterogeneo che variava significativamente tra diversi collegamenti acustici con la stessa configurazione. Questo può essere attribuito a la geometria della superficie del mare e dei sedimenti del fondo marino che porta alla propagazione del segnale multipath.

Inoltre, Qarabaqi e Stojanovic (2011) hanno osservato in misurazioni sperimentali che il la potenza del segnale ricevuto da una trasmissione acustica in acque poco profonde varia nel tempo, poiché il nel le esperienze svaniscono. In alcuni momenti, la potenza del segnale ricevuto potrebbe essere così debole che il i messaggi trasmessi non possono essere decodificati. In quei momenti, il legame è inesistente, come no può verificarsi la comunicazione dei dati.

### 3 ALGORITMI DI CONTROLLO DELLA TOPOLOGIA NELLE RETI DI SENSORI SUBACQUEI

Il controllo della topologia ha il potenziale per mitigare gli effetti indesiderati della connessione wireless subacquea. comunicazione e, di conseguenza, migliorare le prestazioni dei servizi e dei protocolli di rete in reti di sensori subacquei. Figura 2(a) descrive la struttura generale del controllo della topologia.

Di conseguenza, un algoritmo di controllo della topologia dovrebbe considerare la topologia di rete iniziale e il carattere caratteristiche, obiettivi desiderati e vincoli per determinare una nuova topologia. Figura 2(b) mostra il grande immagine della relazione tra controllo topologico e reti di sensori sottomarini, che è riassunto come segue:

- (1) Gli UWSN utilizzano il canale acustico subacqueo per fornire comunicazioni wireless capacità per nodi di sensori subacquei.
- (2) La comunicazione wireless subacquea attraverso canali acustici consente il collegamento in rete servizi per applicazioni subacquee distribuite.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 5

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19: 5

Tabella 1. Attività impegnative negli UWSN e loro relazione con il controllo della topologia

Compito	Sfide	Controllo della topologia
Localizzazione	Il GPS non è possibile; orologio	Controllo della topologia, basato su diversi
E tempo	la sincronizzazione è impegnativa;	è possibile utilizzare i livelli di potenza di trasmissione
sincronizzazione	distanza, angolo e ora di arrivo	migliorare la localizzazione; AUV con
	le stime sono difficili a causa della variabile	mobilità e / o profondità controllate

	velocità di propagazione del segnale; altamente mobilità imprevedibile (Liu et al. <a href="#">2016</a> ).	è possibile utilizzare la regolazione di alcuni nodi per migliorare basato sulla trilaterazione localizzazione (Ferreira et al. <a href="#">2016</a> ).
Mobilità gestione	Alta mobilità e mobilità peculiare: il movimento dei nodi segue gli oceani correnti (Caruso et al. <a href="#">2008</a> ).	Il controllo della topologia può essere utilizzato per la pianificazione le traiettorie degli AUV o la profondità regolazione di alcuni nodi, con il obiettivo di mantenere la rete operativo (Coutinho et al. <a href="#">2013a</a> ).
Riduzione dei dati	L'aggregazione dei dati tradizionale è infattibile; overhead elevato e messaggio collisioni attorno al centro di fusione (Fazel et al. <a href="#">2011</a> ).	Il controllo della topologia può ridurre interferenze e migliorare il riutilizzo spaziale e instradamento dei dati; Il controllo della topologia può gestire anche la scarsa qualità del collegamento a migliorare il rilevamento compresso (Shashaj et al. <a href="#">2014</a> ).
Routing	Perdita di connettività; alto errore di bit Vota; mobilità; alto in testa a mantenere i percorsi di instradamento (Lee et al. <a href="#">2010</a> ).	Il controllo della topologia può aumentare larghezza di banda e gestire il problema della regione vuota di comunicazione che diminuisce le prestazioni di instradamento geografico (Coutinho et al. <a href="#">2017a</a> ; Ghoreyshi et al. <a href="#">2017</a> ).
Accesso medio controllo (MAC)	Lunghe velocità e distanze di propagazione; preamboli di messaggi lunghi e dati bassi tariffe (Zhu et al. <a href="#">2013</a> ).	Il controllo della topologia può limitare interferenza, aumentare il riutilizzo spaziale, efficienza della programmazione e velocità di trasmissione dati; Il controllo della topologia può anche occuparsi di il classico nascosto ed esposto problemi terminali (Su et al. <a href="#">2015</a> ).
Energia efficiente Rete operazione	Elevato costo energetico per la trasmissione (ordine dei watt); alto sovraccarico e collisioni di messaggi; variabile nel tempo e scarsa qualità del canale che richiede ritrasmissioni di messaggi (Stojanovic e Preisig <a href="#">2009</a> ).	Controllo della topologia tramite alimentazione il controllo può gestire collegamenti che variano nel tempo qualità; Anche il controllo della topologia può ridurre le interferenze ed eliminare i file necessità di ritrasmissione dei messaggi (Qarabaqi e Stojanovic <a href="#">2011</a> ).

(3) Tuttavia, il canale acustico subacqueo ha caratteristiche peculiari che danneggiano comunicazione wireless subacquea e sfida la progettazione di reti efficienti protocolli.

(4) A questo proposito, il controllo della topologia può essere impiegato per mitigare la maggior parte delle carenze di il canale acustico e migliorare le prestazioni degli UWSN.

In effetti, il controllo consapevole e mirato della topologia di rete si stabilizza e si addolcisce i cambiamenti indesiderabili nella rete causati dalla qualità del collegamento variabile, dalla mobilità involontaria, e guasti ai nodi, che evitano il frequente scambio di dati per la localizzazione dei nodi, vicinato rilevamento e ricalcolo del percorso dei dati. La tabella [1](#) riassume alcuni dei principali problemi di rete compiti e le loro sfide negli UWSN. Mostra anche come il controllo della topologia può gestire il pre-sfide inviate.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Diverse prospettive sono state adottate per classificare algoritmi e protocolli progettati per controllo della topologia in reti wireless ad hoc e sensori. Secondo la letteratura, l'hanno fatto sono stati classificati in diversi modi come segue:

- (1) *globale o locale* (Wattenhofer et al. [2001](#)), sulla base delle informazioni topologiche necessarie per eseguire il controllo. Nel primo caso, le informazioni dell'intera topologia di rete è impiegato per il controllo della topologia. In quest'ultimo, l'informazione locale della topologia - quella è un'informazione di quartiere  $k$ -hop ( $k = 1$  o  $k = 2$ ): è sufficiente per il controllo della topologia.
- (2) *Centralizzato o distribuito* (Ramanathan e Rosales-Hain [2000](#)), secondo la natura della soluzione. Nel primo caso, un nodo univoco è responsabile del calcolo del nuovo topologia di rete. In quest'ultimo caso, un insieme o ciascun nodo è responsabile del processo decisionale organizzare la topologia di rete.
- (3) *Proattivo o reattivo* (Zheng e Kravets [2005](#)), sia che venga eseguito periodicamente che in modo reattivo a causa di qualche evento nella rete (ad esempio, guasti dei nodi).
- (4) *Omogeneo o non omogeneo* (Santi [2005](#)), sulla base della comunicazione risultante gamma di nodi. Nel primo caso, un valore univoco per il raggio di comunicazione è estratto e utilizzato in tutti i nodi. In quest'ultimo, l'algoritmo di controllo della topologia assegna un intervallo di comunicazione appropriato  $r_c$  a ciascun nodo. Questo valore è determinato dall'intervallo tra  $r_{\min} \leq r_c \leq r_{\max}$ .
- (5) *Copertura -, connettività - o energia orientata* (Li et al. [2013a](#)), in base all'obiettivo principale di essere realizzato mediante l'uso dell'algoritmo di controllo della topologia. In effetti, può essere osservato in letteratura che molti degli algoritmi di controllo della topologia sono strettamente correlati a un file obiettivo desiderato.

In questa indagine, proponiamo di classificare i protocolli di controllo della topologia per le UWSN come segue: potenza controllo, gestione dell'interfaccia wireless e mobilità assistita. Questa classificazione si basa su la tecnica principale che ogni protocollo impiega per controllare consapevolmente la topologia della rete. Questo criterio è abbastanza ampio da coprire gli algoritmi attuali, così come i progetti futuri di algoritmi di controllo della topologia per gli UWSN previsti basati su reti definite da software e UWSN eterogenei. La tassonomia proposta è illustrata nella Figura 3. La tabella 2 riassume il sfide, vantaggi e svantaggi delle categorie proposte. Una breve descrizione di ciascuno la categoria è fornita di seguito:

- *Controllo della topologia basato sul controllo della potenza* : in questa categoria viene eseguito il controllo della topologia mediante la corretta assegnazione della potenza di trasmissione a ciascuna sott'acqua

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 7

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19: 7

Tabella 2. Classificazione degli algoritmi di controllo della topologia per UWSN

Approccio	Idea principale	Vantaggio	Svantaggio
Controllo di potenza basato	L'adeguato la potenza di trasmissione è assegnato a ciascun nodo. Quindi, comunicazione verranno creati i collegamenti qualità del canale acustico. e / o rimosso. Alcuni gli algoritmi mirano a ottenere un a livello di rete proprietà, come connettività di rete.	Semplice; scalabile; conserva energia; non cambia il rilevamento della copertura; può superare la variazione nel tempo	Può diminuire la rete connettività; aumenta il numero di luppoli e ritardo end-to-end.
senza fili	L'interfaccia wireless	Semplice; scalabile; conserva canale relativo all'energia	Cambia la densità di rete;
modalità interfaccia gestione basato	di nodi si alterna tra attivo, dormire e modalità di spegnimento. Questo cambia il interconnessioni	sondaggi; non cambia rilevamento della copertura.	cambia i percorsi di instradamento da tempo al tempo; aumenta il ritardo.

	tra i nodi sopra tempo.		
Mobilità base assistita	Alcuni nodi mobili vengono spostati in nuovi luoghi, creazione nuove interconnessioni.	Migliora la rete connettività; si occupa di partizioni di rete; migliora raccolta dati da hop macchie.	Necessita di pianificazione della traiettoria procedure; costo energetico per mobilità; potrebbe cambiare rilevamento della copertura.

nodo del sensore. Classifichiamo e analizziamo gli algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo della potenza secondo l'obiettivo principale che si intendono raggiungere, come il *risparmio energetico*, aumento del *throughput di rete* attraverso la programmazione della trasmissione o l'esplorazione di la relazione distanza-larghezza di banda del canale acustico subacqueo.

- *Controllo della topologia basato sulla gestione dell'interfaccia wireless*: in questa categoria, l'organizzazione della topologia la zazione avviene tramite la gestione dell'interfaccia wireless, tra quelle attive e gli stati di sonno, di ogni nodo. Classifichiamo e analizziamo la gestione dell'interfaccia wireless algoritmi di controllo della topologia secondo la loro metodologia principale. Le categorie includono *controllo della densità*, in cui un sottoinsieme dei nodi viene mantenuto attivo come backbone di instradamento per messaggi di dati epatici mentre l'interfaccia wireless dei nodi rimanenti viene modificata in modalità sleep e *duty cycle*, in cui ogni nodo alterna in modo asincrono e periodico il proprio interfaccia wireless tra modalità attiva e sleep.
- *Controllo della topologia basato sulla mobilità*: in questa categoria viene eseguito il controllo della topologia attraverso il movimento intenzionale di alcuni nodi in nuove posizioni. In questo sondaggio, mo- Il controllo topologico basato sulla bilità è classificato in due gruppi principali come *regolazione della profondità basato su ment*, in cui i nodi dei sensori subacquei vengono spostati a nuove profondità per ottenere una migliore topologia e *traiettoria*, in cui i veicoli sottomarini autonomi (AUV) spostano i nodi secondo traiettorie predeterminate.

Infine, la seguente dichiarazione deve essere fatta prima di procedere ulteriormente nella letteratura revisione. Alcune delle proposte esaminate in questo sondaggio non hanno affermato che gli algoritmi progettati sono stati proposti per il controllo della topologia. Tuttavia, un'analisi critica rivela che essi consciamente trol la topologia della rete durante i passaggi proposti per raggiungere i loro obiettivi (ad esempio, energia

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Tabella 3. Approcci al controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione

Sottocategoria	Soluzione di base	Sfide
Conservazione dell'energia	Assegna una potenza di trasmissione minima a ogni nodo per garantire la connettività di rete	Canale complesso e poco pratico
Throughput di rete	Assegna la potenza di trasmissione ottimale secondo la distanza, mirando ad aumentare larghezza di banda o il corretto raggio di comunicazione aumentare il riutilizzo spaziale	Modelli; collegamento spaziale e temporale qualità; zone d'ombra; multipath propagazione; comunicazione incerta valore dell'intervallo

conservazione o consegna affidabile dei dati). Per illustrare questo fatto si considerano gli studi di Casari e Harris (2007) e Coutinho et al. (2014a). Casari e Harris (2007) ha rilevato che la comunicazione a corto raggio i link di informazione riducono il consumo di energia negli UWSN. Gli autori hanno utilizzato il controllo della potenza per ridurre il raggio di comunicazione dei nodi dei sensori subacquei e, quindi, ottenere messaggi efficienti dal punto di vista energetico trasmissioni saggi negli UWSN. In effetti, i protocolli proposti controllano la topologia della rete ogni volta decidono di diminuire il raggio di comunicazione di un nodo, dal momento che stanno rimuovendo inutili collegamenti a lungo raggio. Coutinho et al. (2014a), a sua volta, ha proposto un percorso geografico e opportunistico protocollo per migliorare la consegna dei dati negli UWSN. Gli autori hanno proposto un protocollo di regolazione della profondità sviluppato per spostare nodi vuoti sottomarini per nuove posizioni. Nel loro lavoro, una topologia indiretta il controllo avviene ogni volta che un nodo vuoto si sposta verso una nuova posizione, poiché nuova comunicazione i collegamenti vengono creati con il nuovo insieme di nodi vicini.

4 APPROCCIO DI CONTROLLO TOPOLOGICO BASATO SUL CONTROLLO DELLA POTENZA DI TRASMISSIONE

In questa categoria il controllo della topologia avviene mediante la corretta assegnazione della trasmissione livello di potenza a ciascun nodo. Questo di solito viene fatto con l'obiettivo di ridurre il consumo di energia- e ritardare, o aumentare il throughput di rete e l'affidabilità della consegna dei dati. Il cosciente l'organizzazione della topologia risulta dalla creazione e dalla rimozione dei collegamenti di comunicazione quando: viene assegnata rispettivamente una potenza di trasmissione aumentata o ridotta.

Nelle reti wireless ad hoc, gli algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione sono per lo più proposto di ridurre il consumo energetico della rete. Tuttavia, nel sensore acustico subacqueo reti, questo approccio di controllo della topologia è stato inoltre progettato per mitigare il dorsi della comunicazione acustica subacquea (ad esempio, larghezza di banda raggiungibile bassa e collegamento scarso qualità). Ciò si ottiene favorendo collegamenti a corto raggio, che consente l'utilizzo di maggiori frequenze, rispetto ai collegamenti a lungo raggio. Inoltre, dobbiamo controllare la potenza di trasmissione affrontare la variabilità della qualità del collegamento acustico subacqueo spazio-temporale, con l'intento di garantendo una potenza del segnale sufficiente al ricevitore da poter ricevere e decodificare con successo il messaggio trasmesso. Nella parte restante di questa sezione, esaminiamo la topologia basata sul controllo dell'alimentazione algoritmi di controllo, i cui obiettivi principali sono il risparmio energetico e il rendimento della rete. Questo la sottocategorizzazione è riassunta nella Tabel 1 3. Un confronto qualitativo dei protocolli discussi in questa sezione è presentato nella Tabella 4.

4.1 Risparmio energetico

Nella stragrande maggioranza, gli algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo della potenza sono progettati per conservazione dell'ergia nei sistemi wireless a batteria. Questo accade anche negli UWSN perché i nodi dei sensori subacquei sono a energia limitata e le missioni delle navi per sostituire le batterie i nodi sottomarini sono costosi, spesso durano diversi giorni. Di seguito, discutiamo alcuni studi rappresentativi che propongono il controllo della potenza per prolungare la vita utile dell'UWSN.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Tabella 4. Algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione

Categoria e Proposta	Compito	Approccio	Obiettivo	Vincolo	Potenziali applicazioni
Conservazione dell'energia: SBR, SBRB, FSBRR, e DBRB (Casari e Harris 2007 )	Affidabile trasmissione	<i>SBR</i> : Ogni nodo ritrasmette un file messaggio mentre riceve un messaggio di trasmissione. <i>SBRB</i> : a lungo raggio comunicazione per avvisare tutti vicini che ha una trasmissione avviato, mentre a corto raggio la comunicazione è abituata trasmettere un messaggio. <i>DBRB</i> : Funziona in modo simile all'SBRB, ma trasmissioni a lungo raggio inviare alcuni dati FEC per correggere errori.	Energia conservazione	Rete connettività	Periodico a lungo termine rilevamento o guidato dagli eventi monitoraggio subacqueo applicazioni
Conservazione dell'energia (Casari et al. 2007 )	Routing	Analizza analiticamente il file impatto del larghezza di banda-distanza relazione nel multithop a corto raggio e single-hop consegna di dati a lungo raggio da nodi del sensore subacqueo a affonda.	Ritardo di consegna e energia conservazione	Rete connettività	Monitoraggio a lungo termine di petrolio / gas offshore attrezzatura di esplorazione dove basso ritardo per apparecchiature per la segnalazione i fallimenti sono fondamentali
Conservazione dell'energia (Porto e Stojanovic 2007)	MAC	Ottimizza la trasmissione potere di minimizzare il complessivo consumo di energia.	Energia conservazione	Rete connettività	Periodico a lungo termine rilevamento o guidato dagli eventi monitoraggio subacqueo applicazioni
Conservazione dell'energia: MTP (Zhou e Cui 2008)	Routing	Combina multipath e potenza controllo. Il nodo di origine seleziona più percorsi verso la destinazione e calcola la potenza di trasmissione ottimale per ogni nodo lungo i percorsi. Il pacchetto di dati viene trasmesso tra i percorsi selezionati, e sono quindi più copie combinato alla destinazione a recuperare il pacchetto originale.  Decrementa in modo iterativo il file potenza di trasmissione di un nodo	Energia conservazione	Dati desiderati affidabilità di consegna	Inquinamento dei contenuti monitoraggio, target monitoraggio e sott'acqua sorveglianza



Conservazione dell'energia: APRC (Al-Bzoor et al. <a href="#">2012</a> )	Routing	fino a raggiungere il minimo livello pur garantendo comunicazione con a prossimo situato in uno strato più vicino al lavandino.  Il routing multipath a strati è utilizzato per la consegna dei dati per affondare nodi. Il controllo del potere è eseguito su un hop-to-hop base. Copie multiple di un file pacchetti di dati ricevuti sono combinato nella destinazione a ripristino degli errori.	Energia conservazione	Rete connettività	Periodico a lungo termine rilevamento o guidato dagli eventi monitoraggio subacqueo applicazioni
Conservazione dell'energia: LMPC (Xu et al. <a href="#">2012</a> )	Routing	Il controllo della potenza si basa su movimento della superficie del mare che influenza il segnale di superficie riflessione e la forza di il segnale ricevuto in un nodo.	Energia conservazione	Dati desiderati affidabilità di consegna	Inquinamento dei contenuti monitoraggio, target monitoraggio e sott'acqua sorveglianza
Conservazione dell'energia (Kim et al. <a href="#">2014</a> )	Livello fisico	Potenza di trasmissione la regolazione viene utilizzata per affrontare il problema di comunicazione geografico e instradamento opportunistico protocolli.	Dati affidabili consegna	Qualità del canale	Inquinamento dei contenuti monitoraggio, target monitoraggio e sott'acqua sorveglianza
Conservazione dell'energia: iDTC e PADTC (Nasir et al. <a href="#">2016</a> )	Routing		Migliora i dati consegna; ridurre energia consumo	Inoltre avido verso il destinazione	Sott'acqua a lungo termine applicazioni di monitoraggio

(Continua)

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Pagina 10

19:10

RWL Coutinho et al.

Tabella 4. Continua

Categoria e Proposta	Compito	Approccio	Obbiettivo	Vincolo	Potenziali applicazioni
Velocità effettiva di rete (Jornet e Stojanovic <a href="#">2008</a> )	Livello fisico	Utilizza un numero maggiore di livelli di potenza di trasmissione a a messa a punto più fine della trasmissione potenza dei nodi.  Un set di quattro trasmissioni politiche di pianificazione (FIFO, LOAD, LWS e FAIR) per selezione del nodo e dell'ora della prossima trasmissione. Energia control viene utilizzato per assegnare al file nodi la trasmissione più bassa livello di potenza mentre è fermo garantendo un affidabile connessione con un nodo relè in il percorso di instradamento verso il Lavello.	Rete aumentata rendimento e energia conservazione	Rete connettività	Monitoraggio a lungo termine applicazioni
Velocità effettiva di rete (Shashaj et al. <a href="#">2014</a> )	MAC e routing	Potenza di trasmissione dinamica adeguamento e adattamento della tariffa in base al realizzabile larghezza di banda per migliorare lo spazio riutilizzo. Approccio alla teoria dei giochi per la trasmissione distribuita regolazione della potenza tra nodi del sensore subacqueo.	Collegamento ridotto interferenza; alto portata; Basso energia consumo	Rete affidabile connettività	Monitoraggio a lungo termine applicazioni che richiedono consegna affidabile dei dati
Velocità effettiva di rete (Su et al. <a href="#">2015</a> )	MAC	Il controllo della potenza viene utilizzato per limitare l'intervallo di interferenza di ciascuno nodo. Da interferenze limitate zone, orari di trasmissione si propongono di migliorare il velocità di trasmissione della rete.	Migliora lo spazio riutilizzo	Rete connettività	Applicazioni basate su densità da moderata ad alta implementazioni di rete
Velocità effettiva di rete (Anjani e Chitre <a href="#">2015</a> )	MAC	La matrice di correlazione viene utilizzata per descrivere l'origine-destinazione relazione e conflitto relazioni tra i collegamenti. Il controllo della potenza è utilizzato per ottenere un SNR maggiore di soglia di decodifica.	Aumenta la rete portata	Rete connettività	Applicazioni basate su densità da moderata ad alta implementazioni di rete
Velocità effettiva di rete (Bai et al. <a href="#">2016</a> )	MAC		Riduci collegamento interferenza; raggiungere alti portata; Basso ritardo	Requisiti di tempo reale sott'acqua monitoraggio applicazioni, tali come consegna dei dati affidabilità e ritardo limitato	Monitoraggio subacqueo attrezzature di offshore attività industriali; rilevamento inquinanti; sorveglianza subacquea e il monitoraggio del target

Casari e Harris ([2007](#)) e Casari et al. ([2007](#)) ha dimostrato che la comunicazione a corto raggio, basata sui collegamenti multihop in un UWSN, è preferibile alla comunicazione single-hop a lungo raggio. Infatti, in termini di risparmio energetico, la potenza di trasmissione ottimale che dovrebbe essere assegnata ogni nodo in una UWSN è il livello di potenza minimo che garantisce ancora la connettività tra i file

nodi e il lavandino (Porto e Stojanovic [2007](#)). Tuttavia, una potenza di trasmissione adeguata potrebbe dipendere da diversi fattori e la sua corretta assegnazione non è un compito banale. Ad esempio, l'uso di collegamenti di comunicazione a lungo raggio migliorano la connettività di rete e riducono i ritardi end-to-end, poiché i messaggi richiedono meno hop per essere consegnati. Tuttavia, i collegamenti di comunicazione a lungo raggio lo faranno comportare tassi di collisione dei messaggi più elevati. Un'altra dicotomia è quella della comunicazione a corto raggio i collegamenti aumentano il throughput a causa dell'incremento del riutilizzo spaziale, ma possono portare a un elevato end-to-end ritardo. Pertanto, un'adeguata selezione della potenza di trasmissione è un problema impegnativo in un UWSN. Nel infatti, vari studi in letteratura hanno proposto algoritmi di controllo della potenza che modificano la topologia di rete considerando diversi aspetti degli UWSN e del canale acustico.

Un primo gruppo di protocolli è stato progettato per la regolazione della potenza di trasmissione finalizzata risparmiare energia mantenendo la connettività di rete. Come accennato in precedenza, Casari e Harris ([2007](#)), Casari et al. ([2007](#)) e Porto e Stojanovic ([2007](#)) ha proposto di utilizzare il minimo potenza di trasmissione tale che ogni nodo sia ancora in grado di fornire i propri dati a un nodo sink o broadcast

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 11

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:11

un determinato messaggio a tutti i nodi. In uno scenario di un'architettura UWSN a strati concentrici, Al-Bzoor et al. ([2012](#)) ha proposto il protocollo di instradamento APCR, che seleziona la trasmissione appropriata potenza ai nodi, considerando il trade-off tra consumo energetico e rete connettività. A tal fine, ogni nodo assegna il livello di potenza di trasmissione più elevato, quindi ricomincia portandolo fino a raggiungere un livello di potenza che garantisca la comunicazione con il vicino più vicino nodo situato al livello successivo verso il lavandino. Recentemente, Nasir et al. ([2016](#)) ha proposto il PADTC algoritmo, che utilizza il controllo della potenza per affrontare il problema della regione del vuoto di comunicazione riduce drasticamente le prestazioni dei protocolli di instradamento geografico.

Altri protocolli sono dedicati alla selezione della potenza di trasmissione minima che ancora garantisce un'affidabilità del collegamento richiesta (ovvero una velocità di consegna dei dati desiderata). Zhou e Cui ([2008](#)) e Xu et al. ([2012](#)) ha proposto la trasmissione di controllo della potenza multipath (MTP) e il controllo della potenza multipath a strati (LMPC). In entrambi i protocolli, il controllo della potenza viene eseguito non solo per il risparmio energetico ma anche per ottenere una velocità di consegna dei pacchetti richiesta. In entrambe le soluzioni, la selezione della potenza di trasmissione è stato formulato come un problema di ottimizzazione, con l'obiettivo di minimizzare i consumi energetici. Viene quindi determinato il livello minimo di potenza di trasmissione in corrispondenza di ciascun nodo intermedio, soggetto a un tasso di errore del messaggio al di sotto di una soglia stabilita. I protocolli MTP e LMPC differiscono in procedure che usano per determinare i multipath e l'architettura di rete stratificata considerata nel protocollo LMPC.

Inoltre, il controllo della potenza di trasmissione è stato considerato in un mezzo basato su contese protocolli di controllo dell'accesso (MAC) per UWSN. Sono preferibili i protocolli MAC basati su contese per gli UWSN a causa del problema dell'incertezza spazio-temporale che sfida la progettazione di protocolli MAC senza contese. Più specificamente, un approccio MAC basato su conflitti di handshaking ha il potenziale per ridurre le collisioni di pacchetti incontrate in contese di accesso casuale ampiamente utilizzate-protocolli basati. In questo contesto, il controllo della potenza di trasmissione è stato impiegato per migliorare l'efficienza del meccanismo di prevenzione delle collisioni tra pacchetti riducendo il consumo di energia. Accidentalmente, un nodo potrebbe selezionare un livello di potenza elevato per trasmettere pacchetti RTS / CTS, mentre la potenza di trasmissione imum garantisce comunque la comunicazione con il ricevitore previsto trasmissione dei dati (Qian et al. [2016](#)).

Infine, vale la pena menzionare lo studio di Kim et al. ([2014](#)), che considerava un diverso prospettiva per l'uso del controllo della potenza. Gli autori hanno proposto un'assegnazione di potenza di trasmissione soggetto alla qualità del canale percepita. Tuttavia, divergendo dalle soluzioni menzionate in precedenza, la soluzione sviluppata in Kim et al. ([2014](#)) ha considerato l'altezza delle onde durante la regolazione della potenza di trasmissione. La ragione di ciò è che l'altezza delle onde influisce sulla superficie riflessione del segnale e intensità del segnale ricevuto in un nodo. Boe di superficie, dotate di sensori accelerometrici e giroscopici, registrano la loro traiettoria di elevazione; da questo, calcolano il media della linea di galleggiamento. Questo valore calcolato viene utilizzato per stimare il valore quadratico medio (RMS) dell'altezza dell'onda. La potenza di trasmissione dei nodi e le loro frequenze appropriate sono quindi regolato proporzionalmente all'RMS dell'altezza dell'onda. La soluzione proposta ha ridotto l'energia consumo diminuendo la potenza di trasmissione dei nodi, come l'altezza dell'onda gradualmente diminuito verso zero metri, che è il caso in cui gli approcci tradizionali non si percepiscono

variazione della qualità del canale e continuare a utilizzare una potenza di trasmissione eccessiva.

*4.1.1 Analisi critica e questioni aperte.* Nelle soluzioni descritte in precedenza, la subacquea Il modello di canale acustico e le caratteristiche di rete vengono spesso utilizzati durante la decisione di controllo della topologia tramite controllo della potenza. Il modello di canale acustico subacqueo è frequente utilizzato per stimare la forza del segnale ricevuto, in base alla distanza tra il nodi di comunicazione. Pertanto, un livello di potenza di trasmissione può essere assegnato a un nodo se stimato la potenza del segnale ricevuto è sufficiente per garantire la corretta consegna del messaggio. Tuttavia, un completo

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 12

19:12

RWL Coutinho et al.

introduce la caratterizzazione delle caratteristiche uniche che influenzano la comunicazione acustica subacquea notevole complessità nei modelli analitici.

Tuttavia, l'adozione di modelli più realistici è fondamentale per il controllo della topologia. Questo infatti introduce una sfida maggiore nella progettazione di una topologia basata sul controllo efficiente della potenza soluzioni di controllo. A seconda dello scenario (acque basse o profonde), acustica subacquea la comunicazione sarà più o meno influenzata dal rumore ambientale. Inoltre, il ricevuto il segnale è determinato dalla propagazione multi-path, che è stata trascurata nella maggior parte dei proposte. Inoltre, la velocità di propagazione del segnale varia in base alle caratteristiche del ambiente: acque basse contro acque profonde, mari caldi contro mari freddi e fondali piatti contro mossi (Guerra et al. [2009b](#)). Pertanto, è preferibile disporre di algoritmi di controllo della potenza che forniscano al volo metriche misurate delle prestazioni della rete invece di stimare le metriche considerate Modelli.

Inoltre, sarebbe desiderabile avere un'assegnazione periodica della potenza di trasmissione; Questo potrebbe operare in base al messaggio. Ciò è dovuto all'elevata variabilità spazio-temporale nella qualità di il canale acustico subacqueo. Tuttavia, un'assegnazione periodica della potenza di trasmissione aumenta overhead di rete e consumo di energia dovuto alle frequenti ispezioni o scambi di canale dei messaggi di controllo per aggiornare le informazioni di vicinato e le variabili utilizzate per stimare il qualità del canale. Pertanto, i protocolli di controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione dovrebbero essere bilanciati in modo efficiente collegare la qualità e il consumo di energia nella determinazione della frequenza degli aggiornamenti nell'assegnazione livello di potenza di trasmissione.

Inoltre, come discusso in precedenza, la maggior parte delle soluzioni proposte per il controllo della potenza il controllo della topologia si basava sull'assegnazione minima della potenza di trasmissione ai nodi intermedi, garantendo la connettività e un tasso di errore dei messaggi accettabile. Pertanto, come un nodo percepito una diminuzione della qualità del canale, aumenterebbe la potenza di trasmissione, e quindi il consumo di energia. Tuttavia, non tutta la perdita di messaggi è causata da una ricezione debole segnale. La perdita di messaggi può anche verificarsi a causa della mancanza temporanea di connettività causata da zone d'ombra. In queste situazioni di completo deterioramento del canale, è meglio sospendere trasmissioni invece di sprecare energia cercando di consegnarle utilizzando una trasmissione più alta energia.

### 4.2 Velocità effettiva di rete

È inoltre possibile proporre algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione per migliorare il throughput di un UWSN. Negli UWSN, è possibile ottenere un aumento del throughput di rete limitando interferenze o aumentando la larghezza di banda raggiungibile. Nel primo approccio, il controllo della potenza—gli algoritmi di controllo della topologia basati assegnano un intervallo di comunicazione adeguato per aumentare lo spazio riutilizzo (ovvero, riduzione delle interferenze) e, di conseguenza, throughput di rete. In quest'ultimo approccio, Gli algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione determinano il raggio di comunicazione appropriato e la frequenza ottimale corrispondente per aumentare la larghezza di banda raggiungibile. Entrambi gli approcci lo sono discusso in dettaglio nelle sezioni seguenti.

*4.2.1 Programmazione della trasmissione.* È noto che il throughput di un sistema di rete è strettamente correlato al riutilizzo spaziale, che a sua volta rappresenta il numero di collegamenti che possono neamente dati di trasmissione (Su et al. [2015](#)). Nelle reti wireless, l'interferenza tra i nodi in stretta la vicinanza reciproca è un fattore critico che limita la capacità della rete. In queste reti, a causa della natura broadcast del mezzo di comunicazione, i nodi si trovano all'interno di un'interferenza la zona sia del trasmettitore che del ricevitore deve essere mantenuta silenziosa (cioè senza trasmettere)

quando è in corso una trasmissione. Questo silenzio è necessario per evitare conflitti di messaggi e, di conseguenza, spreco di risorse di rete (ad es. larghezza di banda ed energia).

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 13

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:13

Il principio di progettazione degli algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo dell'alimentazione per migliorare la rete il rendimento è semplice. Innanzitutto, viene proposto o applicato un modello di pianificazione dei collegamenti per il rilevamento collegamenti che entreranno in conflitto tra loro, ovvero quei collegamenti in cui si verificheranno collisioni di pacchetti durante la trasmissione simultanea. In secondo luogo, viene generalmente proposto un meccanismo di controllo della potenza diminuire il raggio di comunicazione dei nodi del sensore subacqueo. L'idea è di ridurre il numero di collegamenti in conflitto, che consentiranno a un numero maggiore di nodi di sensori subacquei di trasmettere simultaneamente senza il rischio di collisioni di pacchetti.

Il primo passaggio menzionato in precedenza (ovvero la modellazione di collegamenti in conflitto) può essere osservato nel soluzioni descritte di seguito. Bai et al. (2016) ha proposto una formulazione di ottimizzazione di il problema della pianificazione dei collegamenti senza conflitti utilizzando matrici di correlazione e conflitto. Su et al. (2015) ha ideato una nuova metrica per misurare il riutilizzo spaziale, dove una data trasmissione potrebbe avere successo accade, se il rapporto segnale-interferenza più rumore (SINR) è maggiore di una soglia di decodifica. Shashaj et al. (2014) ha adottato un approccio generalizzato ai conflitti di comunicazione modello, in cui potrebbero verificarsi due tipi di conflitti: (i) conflitto duplex, in cui un nodo non è in grado di ricevere pacchetti da più di un collegamento contemporaneamente, né in grado di trasmettere mentre sta ricevendo un pacchetto, e (ii) conflitto di interferenza, in cui i collegamenti sono in conflitto solo se l'interferenza generata è tale potente che il pacchetto trasmesso non possa essere ricevuto correttamente.

Dopo aver modellato e rilevato i collegamenti in conflitto, potrebbe essere necessario il controllo della topologia basato sul controllo dell'alimentazione utilizzato per ridurre le interferenze e migliorare il riutilizzo spaziale. Bai et al. (2016) ha utilizzato il controllo dell'alimentazione per ridurre zone di interferenza, oltre a ottenere un alto rendimento e un basso ritardo end-to-end, che sono requisiti frequenti delle applicazioni di monitoraggio subacqueo in tempo reale. Shashaj et al. (2014) ha proposto politiche di pianificazione e instradamento basate sul controllo dell'alimentazione per ottimizzare le risorse di rete (ad esempio, larghezza di banda ed energia) nelle applicazioni di traffico periodico degli UWSN. Su et al. (2015) proposto il protocollo UPC-MAC, dove il controllo della potenza viene eseguito in modo indipendente sui mittenti. Per in tal modo, l'equilibrio di Nash di una funzione di utilità è definito per massimizzare il throughput della rete e ridurre il consumo di energia. Al contrario, Anjani e Chitre (2015) ha sviluppato una trasmissione algoritmo di pianificazione per reti sottomarine distribuite casualmente. L'algoritmo di pianificazione determina le fasce orarie in cui ogni nodo trasmette e riceve messaggi. Nel loro lavoro, il controllo della potenza è stato utilizzato per limitare il campo di interferenza e, di conseguenza, aumentare quello ottenibile portata.

Dalle soluzioni di cui sopra, si può osservare che è stato considerato il controllo della potenza limitare le interferenze o garantire un SNR maggiore di una soglia di decodifica. Quando un adatto la potenza di trasmissione è considerata in ogni nodo, un conflitto tra i collegamenti di comunicazione può essere ridotto. Il riutilizzo spaziale può così essere aumentato; di conseguenza, così può il throughput di rete. Nel Inoltre, quando l'interferenza non può essere limitata (cioè, la zona di interferenza non può essere ridotta), la velocità di consegna del pacchetto squalcito può essere raggiunta utilizzando una potenza di trasmissione adeguata che garantisce la giusta potenza al ricevitore in modo che possa decodificare con successo il pacchetto. Però, le proposte precedenti non considerano il controllo della potenza per risparmiare energia (come descritto in Sezione 4.1).

*4.2.2 Rapporto larghezza di banda-distanza.* Negli UWSN, a differenza del wireless terrestre ad hoc e reti di sensori, può essere la progettazione di algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo della potenza utilizzato per esplorare la relazione larghezza di banda-distanza del canale acustico subacqueo. È bene noto che nella comunicazione wireless basata su radiofrequenza, il costo energetico per la trasmissione è proporzionale alla distanza tra i nodi comunicanti. Poiché i nodi sono distanti, una potenza di trasmissione maggiore è necessaria per garantire la corretta ricezione del messaggio (cioè, forte abbastanza segnale ricevuto). Tuttavia, nel canale acustico subacqueo, la distanza tra il i nodi di comunicazione influenzeranno anche la larghezza di banda utile.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Fig. 4. (a) Coefficiente di assorbimento. (b) Densità spettrale di potenza del rumore ambientale.

Stojanovic (2006) ha mostrato che per una data distanza di comunicazione esiste un limite alla massima frequenza utilizzabile. Questo limite è dovuto all'assorbimento del segnale, che aumenta rapidamente come la frequenza aumenta, come mostrato in Figura 4(a). Inoltre, l'intensità del rumore ambientale (ad es. turbolenza, navigazione, onde e rumore termico), che influisce sull'acustica sottomarina, varia in base alla frequenza utilizzata. Pertanto, c'è anche una limitazione dell'utile larghezza di banda acustica dal basso, poiché il rumore è alto per le basse frequenze e decade non appena la frequenza aumenta, come mostrato in Figura 4(b). Ciò porta alla conclusione che, in base al prodotto di attenuazione-frequenza, esiste una frequenza ottimale  $f_c$  per ciascuna distanza di comunicazione in cui le menomazioni sul segnale trasmesso sono ridotte al minimo.

Diverse soluzioni basate sul controllo dell'alimentazione, già discusse nella sezione precedente, hanno esplorato la relazione larghezza di banda-distanza per ridurre ulteriormente il consumo di energia. Questa riduzione dei costi è raggiunta riducendo il tempo necessario per le trasmissioni di un pacchetto, quando una maggiore larghezza di banda e velocità di trasmissione dati sono possibili. A tal proposito Porto e Stojanovic (2007) mostrano che il raggio di trasmissione ottimale corrisponda al valore minimo che garantisce la rete connettività, riducendo il consumo di energia e aumentando il throughput della rete, negli scenari considerati di alta frequenza di 35kHz.

Casari e Harris (2007) ha tratto conclusioni simili. Hanno sfruttato la larghezza di banda-distanza relazione per ridurre il numero di trasmissioni per completare una trasmissione di rete (ad es. applicazioni di disseminazione di percorsi, scoperta di vicinato e riprogrammazione in rete di nodi) e ridurre al minimo il consumo e il ritardo di energia. Così, sono stati notevoli risparmi energetici ottenuti quando i nodi potrebbero regolare correttamente la loro potenza di trasmissione.

Casari et al. (2007) ha studiato le prestazioni del multihop relaying-only e parallel politiche di trasmissione per la consegna dei dati dai nodi sottomarini a un pozzo. La prima soluzione utilizza comunicazioni a corto raggio e inoltra messaggi per tutti i nodi a monte, fino a quando non vengono utilizzati raggiungere il lavandino. In quest'ultimo, ogni nodo ha la possibilità di utilizzare la comunicazione a lungo raggio per inoltra parte del suo messaggio direttamente al sink, mentre i messaggi rimanenti vengono inoltrati attraverso la comunicazione multihop a corto raggio. Ancora una volta, i risultati hanno mostrato che le trasmissioni multihop attraverso la comunicazione a corto raggio ha portato a un ridotto consumo energetico.

Jornet e Stojanovic (2008) ha studiato gli effetti del numero di livelli di potenza disponibili che possono essere assegnati ai nodi. I risultati numerici hanno mostrato che c'era una riduzione del consumo energetico totale, basato su un aumento del numero di livelli di potenza. Ciò era dovuto al fatto che i nodi potrebbero regolare la loro potenza di trasmissione con maggiore precisione. I risultati lo hanno dimostrato quattro livelli di potenza erano sufficienti per ottenere un buon compromesso tra i consumi energetici e complessità di implementazione per la rete considerata.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

In conclusione, le soluzioni discusse in questa sezione hanno evidenziato le potenzialità di utilizzo di controllo della topologia basato sul controllo dell'alimentazione per esplorare la relazione larghezza di banda-distanza di canale acustico subacqueo negli UWSN. In generale, i risultati ottenuti negli studi citati ha dimostrato che questo approccio ha migliorato il rendimento della rete e ridotto anche il costo dell'energia. Il l'esplorazione di questa relazione è un'importante intuizione che deve guidare il futuro design del potere protocolli di controllo della topologia basata su controllo per UWSN.

4.2.3 *Analisi critica e questioni aperte.* Nel contesto del controllo della topologia, trasmissione la programmazione, l'intervallo di comunicazione ottimale a coppie e l'assegnazione della frequenza sono promettenti tecniche per aumentare il rendimento nel difficile ambiente della comunicazione acustica wireless. Tuttavia, la maggior parte delle soluzioni proposte hanno affrontato questo problema solo da un punto di vista teorico punto di vista. Inoltre, le attuali proposte, soprattutto per quanto riguarda la programmazione della trasmissione, lo hanno stato studiato in scenari limitati di UWSN con solo pochi collegamenti. In questo modo, è necessario progettare algoritmi euristici locali e distribuiti per la programmazione della trasmissione e l'assegnazione di un file raggio di comunicazione ottimale. Un insieme di nodi nelle vicinanze potrebbe scambiare efficacemente informazioni e coordinare l'uso degli slot di trasmissione, della portata e della frequenza per massimizzare il canale utilizzo e produttività. In questo scenario immaginato, il controllo della topologia basato sul controllo dell'alimentazione lo farà essere fondamentale per ridurre il raggio di comunicazione dei nodi, migliorare il riutilizzo spaziale e raggiungere un'elevata larghezza di banda. Inoltre, le proposte di programmazione della trasmissione devono affrontare aspetti pratici aspetti; quindi, il controllo della potenza sarà influente nell'affrontare l'elevata qualità del collegamento acustico variabilità.

Inoltre, al meglio delle nostre conoscenze, non esiste uno studio in questo argomento che consideri gli scenari di comunicazione cooperativa. Qui definiamo una comunicazione cooperativa dura e morbida come segue. La comunicazione cooperativa dura si riferisce a quegli scenari in cui più nodi trasmettere in modo coordinato lo stesso messaggio a livello fisico. L'idea è creare un virtuale array di antenne per migliorare la qualità e l'affidabilità del collegamento aumentando la diversità spaziale, come in Tan et al. (2013). Tuttavia, definiamo comunicazione cooperativa morbida come quegli scenari in cui, a livello di rete, più nodi si coordinano per inoltrare un messaggio verso una destinazione. Nel in questo caso, viene selezionato un insieme di nodi candidati per l'inoltro del salto successivo e una priorità di trasmissione il livello viene assegnato a ciascun nodo candidato. Pertanto, quando il nodo di origine trasmette, i candidati che hanno ricevuto il messaggio di dati lo inoltreranno in modo coordinato in modo tale che una priorità bassa level node inoltra il messaggio solo se non sente il messaggio inoltrato da un nodo ad alta priorità. Questa procedura, nota come instradamento opportunistico (Coutinho et al. 2016a), è un possibile soluzione efficiente per migliorare l'affidabilità del collegamento negli UWSN.

In entrambi gli scenari, la programmazione della trasmissione e la selezione della frequenza saranno difficili. Trans- gli algoritmi di pianificazione della missione devono considerare la natura delle comunicazioni da multi-a-uno o trasmissioni uno-a-molti. L'assegnazione del raggio di comunicazione e il conseguente ottimo l'utilizzo della frequenza in ogni nodo deve considerare e sfruttare il suo vicinato per migliorare il collegamento affidabilità attraverso la comunicazione cooperativa. Gli algoritmi di controllo della topologia saranno importanti per ridurre la complessità di questi algoritmi, nel senso che possono essere utili per organizzare la topologia di rete per ridurre la complessità della comunicazione.

Infine, vale la pena ricordare che, nonostante le conclusioni dei vantaggi di corto raggio e utilizzo ottimale della frequenza per la comunicazione (Casari e Harris 2007; Casari et al. 2007; Porto e Stojanovic 2007; Stojanovic 2006), non esiste un progetto di protocollo esteso che sfrutti questo potenziale utilizzando la regolazione della potenza di trasmissione negli UWSN. In effetti, la maggior parte delle soluzioni di rete per Gli UWSN hanno preso in considerazione la comunicazione multihop a corto raggio dell'ordine di centinaia di me- ters invece di chilometri. Ad esempio, alcuni dei protocolli di instradamento proposti per gli UWSN hanno considerato un raggio di comunicazione di 250 m inferiore (Coutinho et al.2013b, 2016b; Noh et al. 2013).

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Tabella 5. Consumo energetico del micromodem-2 WHOI

Stato	Consumo di energia	Stato	Consumo di energia
Trasmissione	8–48 W	Idle (attivo)	300 mW

Tuttavia, non sfruttano già la capacità di regolazione della potenza di trasmissione al volo disponibile in alcuni modem acustici. In effetti, mancano algoritmi di controllo della potenza al volo con lo scopo del controllo della topologia negli UWSN nonostante l'esistenza di modem acustici che lo consentano. Questo. È interessante notare che la metodologia di regolazione della potenza di trasmissione è la tecnica più popolare per controllo della topologia delle reti wireless ad hoc.

5 TOPOLOGIA BASATA SULLA GESTIONE DELLA MODALITÀ DI INTERFACCIA WIRELESS  
APPROCCIO DI CONTROLLO

La gestione dell'interfaccia wireless dei nodi è una metodologia ben studiata per topol- controllo ogy nelle WSN terrestri. Tuttavia, nelle reti di sensori subacquee, questo argomento di ricerca lo è ancora nella sua infanzia. Infatti, la discussione continua sull'eventualità della gestione del wireless modalità di interfaccia è un approccio utile per il controllo topologico che mira a ridurre il consumo di energia zione degli UWSN. Nel resto di questa sezione, discutiamo le proposte rappresentative che hanno ha studiato i compromessi tra la gestione della modalità dell'interfaccia wireless e il risparmio energetico in UWSN.

Nelle reti wireless, l'interfaccia di comunicazione ha diverse modalità di funzionamento: *trasmissione- ting* , *ricezione* , *inattività* , *sonno* e, naturalmente, completamente *spento* . Ogni modalità operativa è diversa costi unitari del consumo energetico. Quindi, il consumo energetico complessivo di un nodo dipende sulla quantità di tempo che trascorre con la sua interfaccia wireless in ciascuna modalità, come indicato di seguito equazione semplificata del consumo energetico:

$$E = T_{tx} e_{tx} + T_{rx} e_{rx} + T_i e_i .$$
 (1)

Nell'equazione (1), le variabili  $T_{tx}$  ,  $T_{rx}$  e  $T_i$  corrispondono alla quantità di tempo che il wireless interfaccia spesa rispettivamente in trasmissione, ricezione e inattiva. I termini  $e_{tx}$  ,  $e_{rx}$  e  $e_i$  sono il consumo di energia rispettivamente degli stati di trasmissione, ricezione e inattività nel tempo. Nel In generale, si considera che un nodo non spenda energia quando la sua interfaccia wireless è alimentata spento.

Il WHOI MicroModem-2 (Gallimore et al. 2010), progettato per la comunicazione acustica subacquea cazione, presenta i costi riportati nella tabella 5. Come si è visto in questo modem acustico, c'è un significativo differenza tra costi di trasmissione e ricezione / inattività nei modem acustici. La ricezione e I costi energetici inattivi, infatti, sono molto bassi e simili al tipico wireless a radiofrequenza interfacce. A questo proposito, si potrebbe suggerire che non c'è motivo di preoccuparsi della ricezione e costi energetici inattivi negli UWSN, in quanto potrebbero essere facilmente dominati dal costo di trasmissione.

Tuttavia, nonostante la differenza significativa tra i costi di trasmissione e di ricezione / inattività, I nodi del sensore derwater trascorrono la maggior parte dei loro cicli operativi in modalità di ascolto inattivo, come dati le trasmissioni di messaggi nelle applicazioni di monitoraggio subacqueo sono molto rare. quindi, il la gestione della modalità dell'interfaccia wireless negli UWSN può anche comportare un risparmio energetico, poiché servito nel lavoro di Harris et al. (2009) e Coutinho et al. ( 2015b).

Nel contesto di cui sopra, controllo della topologia utilizzando la gestione della modalità dell'interfaccia wireless può risparmiare energia durante i periodi di non comunicazione. Gli algoritmi di controllo della topologia cambiano il file topologia di rete, mantenendo una spina dorsale di nodi attivi per scopi di comunicazione, dove i rimanenti nodi ridondanti possono andare a dormire (controllo della densità), o controllando il

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Tabella 6. Riepilogo della metodologia di gestione della modalità di interfaccia wireless

Sottocategoria	Soluzione di base	Sfide
Controllo della densità	Mantiene sveglio un insieme di nodi, in qualsiasi momento, per fungere da spina dorsale di comunicazione per consegna dei dati.	Distribuzioni a bassa densità; mobilità; canali inaffidabili per determinare e mantenere a spina dorsale di comunicazione.
Ciclo di lavoro	Commuta la radio di un nodo in modo sincrono o	Sincronizzazione dell'ora; in testa; alto ritardo; messaggio lungo



in modo asincrono tra  
modalità attiva e sleep,  
periodicamente.

preamboli: bassa affidabilità di  
canale acustico.

periodi attivi dei nodi per renderli disponibili contemporaneamente, per abilitare la comunicazione (operazione duty cycle). Entrambi gli approcci portano al risparmio energetico, poiché riducono la quantità di tempo non necessario che un nodo trascorre ascoltando il canale.

Inoltre, questo approccio di controllo della topologia potrebbe ridurre le interferenze tramite la rete controllo della densità, che riduce i conflitti di messaggi e la necessità di ritrasmissioni di messaggi. Di conseguenza, migliorerà anche le prestazioni dei protocolli MAC basati su slot negli UWSN e ridurre l'overhead della scoperta adiacente dei protocolli di routing, poiché solo un sottoinsieme di i nodi saranno svegli.

Tuttavia, il controllo della densità e il ciclo di lavoro potrebbero diminuire la connettività di rete e, di conseguenza, spesso, le prestazioni UWSN. In una UWSN, un insieme di nodi che formano un backbone attivo potrebbe non esserlo essere sufficiente per la consegna dei dati. Ciò è dovuto alla qualità variabile del canale acustico subacqueo, come descritto nella sezione 2.2. In realtà, è stato dimostrato che l'uso di nodi ridondanti migliora i dati affidabilità di consegna e consumo energetico equilibrato negli UWSN (Coutinho et al.2017b).

In questa sezione vengono illustrate le soluzioni di controllo della topologia per le UWSN basate sulla gestione delle modalità dell'interfaccia wireless. Come già accennato, la discussione segue due sottocategorie: controllo della densità e duty cycle. La Tabella 6 mostra un riepilogo di queste due categorie. Le proposte presentati di seguito vengono confrontati qualitativamente nella Tabella 7.

5.1 Controllo della topologia basato sul controllo della densità

In generale, gli algoritmi di controllo della topologia in questa categoria selezionano un sottoinsieme dei nodi distribuiti essere in modalità attiva. I nodi mantenuti in modalità attiva costituiscono una spina dorsale di comunicazione per consegna dati multihop. Per risparmiare energia, i nodi non selezionati disattivano completamente il wireless interfaccia. È stato particolarmente impiegato l'approccio del controllo della topologia basato sul controllo della densità nelle WSN terrestri, poiché di solito comprendono distribuzioni ad alta densità.

Al momento, l'approccio al controllo della topologia basato sul controllo della densità è stato meno esplorato nelle reti di sensori sottomarini rispetto agli altri approcci di controllo della topologia (power basato sul controllo (Sezione 4) e mobilità assistita (sezione 6)). La ragione principale di ciò è che le reti di sensori sottomarini, a differenza delle WSN terrestri, in genere comportano distribuzioni sparse. Inoltre, la mancanza di percorsi ridondanti per la consegna dei dati potrebbe diminuire le prestazioni di UWSN applicazioni. Ciò è dovuto all'elevata variabilità temporale della qualità dell'acustica subacquea canale, come discusso nella Sezione 2.2. Pertanto, ogni nodo ha un ruolo fondamentale per la connettività di rete in un UWSN.

Tuttavia, come verrà sottolineato di seguito, alcuni studi hanno esaminato i vantaggi e svantaggi di questa metodologia di controllo della topologia nelle UWSN. Potrebbero essere ulteriori indagini

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Tabella 7. Algoritmi di controllo della topologia basati sulla gestione della modalità dell'interfaccia wireless

Categoria e Proposta	Strato	Approccio	Obbiettivo	Vincolo	Potenziali applicazioni
Controllo della densità (Harris et al. 2009)	Livello fisico	Confronta il ciclismo nel sonno, dove i nodi si alternano periodicamente tra attivo e sonno modalità e sveglia approcci, dove un la radio a bassissima potenza lo è considerato per svegliare il principale radio, per il risparmio energetico negli UWSN.	Riduci l'energia consumo	Rete connettività	Monitoraggio subacqueo applicazioni che richiedono raccolta periodica dei dati presso bassa frequenza di campionamento
Controllo della densità (Wills et al. 2006)	Livello fisico	Sviluppa un a basso costo e modem acustico a bassa potenza a supporto a corto raggio comunicazione per densi reti di sensori subacquei.	Riduci l'energia consumo	Rete connettività	Monitoraggio subacqueo applicazioni che richiedono implementazioni ad alta densità, come inquinante e monitoraggio della biologia marina
Controllo della densità		Sviluppa un trigger acustico			



(Sanchez et al. <a href="#">2011</a> )	Livello fisico	sistema di sveglia che non lo è limitato a una specifica acustica modem.	Riduci l'energia consumo	-	Generale a lungo termine monitoraggio subacqueo applicazioni
Controllo della densità (Li et al. <a href="#">2015</a> )	Livello fisico	Svilupa un circuito in servizio per monitoraggio della potenza su canale e modem acustico sistema di sveglia.	Riduci l'energia consumo e sveglia ritardo	-	Generale a lungo termine monitoraggio subacqueo applicazioni
Controllo della densità (Su et al. <a href="#">2016</a> )	Fisico e Livelli MAC	Proponi una differenza di ciclo protocollo basato su set a determinare il numero e posizioni di attivo e sonno intervalli in un ciclo a garantire che sia il file trasmettitore e ricevitore lo sono sveglio per la comunicazione.	Riduci l'energia consumo e consegna ritardo	Rete connettività	Generale con vincoli di ritardo sott'acqua a lungo termine applicazioni di monitoraggio, come inquinante monitoraggio della dispersione e sorveglianza subacquea applicazioni
Ciclo di lavoro (Zorzi et al. <a href="#">2010</a> )	Fisico e livelli di rete	Indaga su come il ciclo di lavoro influisce sul nodo effettivo densità ed energia consumo di UWSN.	Mantieni la rete connettività riducendo energia consumo	Rete connettività	Sott'acqua a lungo termine applicazioni di monitoraggio richiedendo altamente affidabile consegna dei dati, come tracciamento del target e sorveglianza subacquea applicazioni
Ciclo di lavoro (Hong et al. <a href="#">2013</a> )	Livello fisico	Studia il sonno-risveglio frequenza per il ciclo di servizio UWSN.	Riduci l'energia perdita di frequente e non necessario radio on / off commutazione operazione	Rete connettività	Generale a lungo termine monitoraggio subacqueo applicazioni
Ciclo di lavoro (Coutinho et al. <a href="#">2015b</a> )	MAC e livelli di rete	Svilupa un'analisi framework per lo studio del controllo basato su pacchetti approcci utilizzati per garantire che il trasmettitore e il ricevitore sarà sveglio al stesso tempo per i dati trasmissione.	Riduci l'energia consumo e ritardare mantenimento Rete connettività	Rete connettività	Sott'acqua a lungo termine applicazioni di monitoraggio che richiedono alta affidabilità consegna dei dati, come tracciamento del target e sorveglianza subacquea applicazioni
Ciclo di lavoro (Coutinho et al. <a href="#">2016c</a> )	Livello MAC	Proponi un modello di ottimizzazione per indagare sulle prestazioni della regolazione al volo di l'intervallo di sonno in UWSN ciclo di lavoro.	Ottieni un energia equilibrata consumo	Rete connettività	Sott'acqua a lungo termine applicazioni di monitoraggio che richiedono alta affidabilità consegna dei dati, come tracciamento del target e sorveglianza subacquea applicazioni

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 19

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:19

motivato dal fatto che (i) il dispiegamento di nodi di sensori subacquei di solito si verifica in nel modo seguente: un gruppo di nodi di deriva sottomarini viene inizialmente dispiegato in una piccola area e si diffondono con le correnti oceaniche col passare del tempo, creando un dispiegamento ad alta densità nel inizio della missione di monitoraggio; (ii) i nodi sottomarini potrebbero utilizzare una comunicazione elevata range, che risulterà in ridondanza.

Harris et al. ([2009](#)) ha studiato le potenzialità della gestione dell'alimentazione durante i periodi di inattività e delle modalità di sveglia negli UWSN. Negli scenari considerati, le simulazioni hanno portato alla conclusione che la bassissima potenza la modalità di risveglio supera il ciclo del sonno e, ovviamente, l'approccio di avere sempre tutti i nodi acceso, per le applicazioni UWSN di trasmissione periodica dei dati con una frequenza nell'ordine dei minuti a poche ore. Ciò può essere spiegato dalla trasmissione eccessiva di messaggi di controllo per garantire che il nodo ricevente sarà sveglio e dall'elevato costo energetico per le trasmissioni.

La conclusione in Harris et al. ([2009](#)) è importante per motivare la progettazione di scia a bassa potenza sistemi up per reti di sensori subacquei. Fondamentalmente, un modem acustico a bassa potenza rimane alimentato spento quando non viene rilevata alcuna comunicazione nel canale di trasmissione wireless. Per svegliare i vicini nodi subacquei, un tono acustico può essere utilizzato come segnale di risveglio dello stimolo propagato nel canale. Pertanto, ogni volta che un nodo dormiente rileva un dato livello di energia nel canale, la sua acustica il modem si sveglia per ricevere un'ulteriore trasmissione dati. La sfida di questo approccio è il progettazione efficiente di modem acustici con elevata sensibilità e rapida reattività per fornire accuratezza risvegli.

In questo contesto, Wills et al. ([2006](#)) ha sviluppato un modem acustico a basso costo e bassa potenza per abilitare

implementazioni ad alta densità di UWSN basate su comunicazioni a corto raggio. Nell'acustica progettata modem, il modulo ricevitore di sveglia è responsabile di (i) monitorare il livello di energia esistente in una banda stretta di frequenze e (ii) svegliare il ricevitore attraverso un'interruzione, ogni volta l'energia osservata nel canale supera un livello di soglia.

Sanchez et al. (2011) ha progettato un sistema di sveglia basato su RFID per un modem acustico a bassa potenza. Nella soluzione proposta, viene trasmesso un segnale di sveglia per informare il destinatario previsto di a trasmissione di un nuovo messaggio. Sul lato ricevitore, viene generato un segnale di interruzione per riattivare il microcontrollore, ogni volta che il ricevitore previsto rileva un segnale di sveglia corrispondente a quello assegnato modello di riconoscimento. Li et al. (2015) ha progettato un circuito in servizio per il monitoraggio della potenza e acustico sveglia del modem. Per controllare il circuito in servizio, gli autori hanno implementato il sonno, il monitoraggio e modalità operative funzionanti nel loro modem. Il circuito di risveglio in modalità monitoraggio, attivato da un orario di allarme, si sveglia e mette il modem in modalità di lavoro ogni volta che rileva un file segnale di sveglia ricevuto dal trasduttore.

In termini di protocolli, una soluzione praticabile potrebbe risiedere nell'allineamento asincrono dei periodi di veglia di coppie di nodi sensori subacquei. Questo è un approccio semplice che può ridurre la complessità e il requisito di un modem acustico a bassissima potenza utilizzato per riattivare il modem principale. Nel questo approccio, una sovrapposizione di periodi di veglia tra i nodi vicini può essere determinata in base a il carico di traffico e la loro posizione nel percorso di instradamento per i nodi sink. Su et al. (2016) discusso come Il risveglio asincrono può essere utilizzato per il risparmio energetico negli UWSN. Gli autori hanno proposto a protocollo basato su set di differenze cicliche (CDS), utilizzando progetti combinatori, per determinarlo solo il numero ma anche le posizioni degli intervalli attivi e di sonno in un ciclo per garantire a almeno uno slot sovrapposto in cui ogni coppia di nodi sarà attiva. Questo approccio sembra essere molto adatto per scenari di raccolta dati periodici. Tuttavia, potrebbe essere strettamente dipendente da topologia di rete e inadeguata per reti di sensori subacquei non statici.

*5.1.1 Analisi critica e questioni aperte.* Durante la progettazione della gestione dell'interfaccia wireless—protocolli di controllo topologici basati su UWSN, le caratteristiche peculiari dell'ambiente e il canale acustico subacqueo dovrebbero essere attentamente considerati. Per quanto riguarda questo controllo della topologia

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 20

19:20

RWL Coutinho et al.

metodologia, le conclusioni e le conoscenze acquisite nei WSN basati sulla radiofrequenza non possono essere applicato direttamente agli UWSN, a causa del rumore elevato, larghezza di banda limitata, zone d'ombra, Doppler effetti e un elevato consumo di energia per la trasmissione nell'ambiente acquatico.

Idealmente, ogni nodo del sensore subacqueo dovrebbe essere mantenuto il più possibile inattivo. Dovrebbe svegliarsi solo quando ha un messaggio di dati da trasmettere. Tuttavia, poiché il multihop viene utilizzato per consegna dei dati, ogni nodo deve anche regolare il proprio ciclo operativo (alternando idle e sleep modalità) per contribuire all'attività di instradamento multihop. Inoltre, gli UWSN sono scarsamente distribuiti a causa di l'elevato costo di costruzione e implementazione, che rende ogni nodo vitale per la connettività di rete e limita il numero di possibili candidati per continuare a inoltrare il messaggio di dati. Perciò, il controllo della topologia, basato sulla gestione della densità di rete, subirà un ritardo maggiore per le applicazioni, poiché il nodo mittente dovrebbe attendere fino a quando il nodo del salto successivo non si riattiva. Il design dei protocolli per la gestione delle modalità di interfaccia wireless in UWSN deve considerare anche il overhead introdotto per ottenere le informazioni utilizzate per decidere quali nodi devono rimanere attivi. Questo sovraccarico potrebbe comportare costi energetici che potrebbero essere superiori ai risparmi energetici previsti. Ciò accade perché il costo energetico per la trasmissione è molto più alto di qualsiasi altra interfaccia wireless modalità.

Man mano che i modem acustici a bassa potenza e a basso costo diventano più disponibili, UWSN da moderato ad alto diventano possibili distribuzioni di densità. In questo scenario futuro, controllo della topologia tramite la densità il controllo sarà fondamentale. Coutinho et al. (2016d) ha proposto la metrica di centralità PCen da identificare nodi centrali negli UWSN, dal punto di vista dell'inoltro dei dati. Queste informazioni potrebbero essere utilizzate per mantenere attivi i nodi centrali. Inoltre, il controllo della densità può essere eseguito localmente intorno al centro nodi che mirano a ottenere un consumo energetico equilibrato.

## 5.2 Controllo della topologia basato sul ciclo di lavoro

In questo sondaggio, consideriamo il ciclo di lavoro come una metodologia che può essere esplorata per il controllo della topologia. Si potrebbe affermare che l'operazione di duty cycling non modifica la topologia della rete, poiché a

coppia di nodi di comunicazione saranno attivi contemporaneamente per la consegna dei dati. Tuttavia, dal punto di vista del controllo della topologia, la corretta selezione e / o regolazione dell'intervallo di sonno di i nodi forzeranno l'assenza o l'esistenza di alcuni collegamenti durante la comunicazione.

Il ciclo di lavoro è stato ampiamente studiato per raggiungere l'efficienza energetica nei settori reti ad hoc e sensori wireless basate su radiofrequenze vincolate. In una rete a ciclo dazio lavoro, ogni nodo alterna periodicamente lo stato della sua radio tra le modalità attiva e sleep. Nel questo approccio, il risparmio energetico si ottiene evitando di mantenere i nodi inattivi ascoltando il file canale, soprattutto in scenari di basso carico di traffico nelle reti di sensori.

In generale, i protocolli duty cycling sono stati classificati come *sincroni* e *asincroni*, cording al meccanismo utilizzato per garantire che i nodi di comunicazione a coppie siano svegli a stesso tempo (cioè durante la trasmissione del messaggio). Nel ciclo di lavoro sincrono, il sonno / veglia L'orario dei nodi viene allineato mediante negoziazione esplicita. Pertanto, un nodo mittente è sempre consapevole quando i suoi vicini sono svegli e adatti a ricevere messaggi di dati. Al contrario, in ciclo di lavoro asincrono, il programma del ciclo di lavoro dei nodi è completamente disaccoppiato. Là- quindi, in un momento arbitrario, solo un sottoinsieme di nodi potrebbe essere in modalità attiva, ovvero sveglio e adatto a ricevere messaggi di dati.

I protocolli di ciclo di lavoro sincrono o asincrono hanno caratteristiche peculiari che influenzerà le prestazioni degli UWSN. I protocolli di ciclo di lavoro sincrono si basano su periodici segnalazione per garantire un allineamento tra i programmi dei cicli di lavoro dei nodi. Inoltre, lì è la necessità di orologi sincronizzati, che richiedono ulteriori sforzi di elaborazione e comunicazione. Questo approccio non sembra essere appropriato per gli UWSN a causa dell'overhead per l'orologio sincronizzazione e scambio di orari. I protocolli di ciclo di lavoro asincrono, tuttavia, lo sono

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 21

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:21

semplice e non comportano segnalazioni periodiche per gli allineamenti del programma. Questi sembrano essere di più adatto per l'ambiente difficile delle applicazioni UWSN. Tuttavia, questi protocolli portano a un file aumento del ritardo end-to-end, in quanto non vi è alcuna garanzia che un nodo ricevente sia attivo quando a Il nodo mittente ha un messaggio di dati da trasmettere.

Di seguito, discuteremo brevemente le tre metodologie principali utilizzate per progettare asincrono protocolli duty cycle:

- *Ingenuo ciclo di lavoro asincrono* (Coutinho et al. [2015b](#)): Nei protocolli di ciclo di lavoro basati su questa metodologia, un nodo mittente trasmette un messaggio di dati ogni volta che è pronto. Il messaggio viene ricevuto con successo se è presente un nodo vicino attivo durante la trasmissione. Questo approccio è efficiente in termini di risparmio energetico e spese generali. Tuttavia, non esiste garantire che un messaggio di dati verrà recapitato con successo alla destinazione, in particolare in scenari UWSN a bassa densità.
- *ascolto a bassa potenza (LPL) dovere andare in bicicletta* (Buettner et al. [2006](#)): Nei protocolli di ciclo di lavoro basati su questa metodologia, un nodo mittente trasmette i preamboli prima di trasmettere un messaggio di dati saggio. La fase di preambolo viene utilizzata per garantire che il ricevitore desiderato sia sveglio durante la trasmissione del messaggio dati. Questa fase dura per un periodo leggermente più lungo rispetto a intervallo di sonno del nodo ricevente. Dal lato del ricevitore, ogni volta che si sveglia e rileva una trasmissione di preambolo, rimane sveglio per ricevere il messaggio di dati trasmesso dopo la fase di preambolo. È importante ricordare che l'approccio LPL classico non è fattibile per gli UWSN, a causa delle lunghe trasmissioni del preambolo e dell'elevato costo energetico di acous-modem tic per la trasmissione. Per queste reti, è desiderata la variante del preambolo in modalità strobo. Nella variante LPL preambolo strobe (Buettner et al. [2006](#); Li et al. [2014](#)), breve preambolo le trasmissioni sono intervallate da tempi silenziosi. Infine, vale la pena menzionare quell'energia la spesa avviene principalmente nei nodi del mittente.
- *sondare a bassa potenza (LPP) o imposta in bicicletta ricevitore avviato* . (Rodríguez Pérez-et al [2015](#); Sole et al. [2008](#)): Nei protocolli di ciclo di lavoro basati su questa metodologia, un nodo ricevente trasmette un faro ogni volta che si sveglia. Questa trasmissione viene utilizzata per informare la sua situazione di veglia per eventuali nodi mittenti nel vicinato. Pertanto, ogni volta che un nodo mittente ha un dato messaggio da trasmettere, attende che il destinatario previsto si svegli e trasmetta il segnale.

In letteratura si nota un percorso evolutivo dall'indagine sui principi di base

del ciclo di lavoro negli UWSN allo sviluppo efficace di algoritmi. In primo luogo, Zorzi et al. (2010) ha studiato gli effetti dell'effettiva densità dei nodi sul consumo energetico di una UWSN. Nel considerato lo scenario, i nodi che operano in modo duty-cycle sono stati in grado di controllare la loro trasmissione energia. Gli autori hanno osservato che uno dei principali inconvenienti dell'uso del servizio asincrono il ciclisto è il decremento della densità istantanea della rete e, di conseguenza, della rete connettività.

Hong et al. (2013) ha affrontato il problema della frequenza del sonno-veglia negli UWSN sottoposti a ciclo di lavoro. La motivazione di quel lavoro deriva dal fatto che le frequenti accensioni / spegnimenti della radio sprecherà energia e, di conseguenza, ridurrà la durata. Gli autori hanno proposto il ricevitore-schema di pianificazione del sonno orientato (ROSS) per risparmiare energia riducendo il sonno-veglia frequenza dei nodi. Lo schema proposto funziona in una topologia ad albero utilizzando una pianificazione TDMA per le trasmissioni. Lo schema ROSS assegna il tempo di lavoro di ogni nodo dalla radice a i nodi foglia, dove ogni nodo potrà dormire subito dopo aver inoltrato tutto quello ricevuto dati dai suoi figli. A causa del meccanismo utilizzato per determinare l'orario di lavoro di ciascun nodo, lo schema ROSS raggiunge un throughput più elevato e un ritardo end-to-end inferiore rispetto al protocolli MAC correlati proposti per UWSN.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 22

19:22

RWL Coutinho et al.

Fig. 5. Paradigmi per progettare protocolli di duty cycling. (a) Ingenuo ciclo del dovere. (b) LPL. (c) LPP.

Coutinho et al. (2015b) ha proposto un quadro analitico per la valutazione delle prestazioni dei protocolli di ciclo di lavoro basati sulle tre metodologie di cui sopra (naive, LPL e LPP) in scenari di UWSN che utilizzano protocolli di routing opportunistici, come mostrato nella Figura 5. Il Gli autori hanno valutato i potenziali di conservazione dell'energia di questi approcci a confronto allo scenario di configurazione della radio sempre attiva. I risultati ottenuti hanno mostrato che a base ingenua I protocolli di ciclo di lavoro asincrono hanno ottenuto una maggiore efficienza in termini di risparmio energetico. Ciò è dovuto all'assenza di trasmissioni di messaggi di controllo per garantire che sia il destinatario che i nodi del mittente saranno attivi allo stesso tempo. Tuttavia, a causa della mancanza di questo meccanismo, questo l'approccio ha funzionato male in termini di consegna dei messaggi.

Coutinho et al. (2016c) ha studiato come la selezione appropriata dell'intervallo di sonno dei nodi negli UWSN duty-cycle influisce sulla durata della rete. Gli autori hanno proposto un quadro analitico-lavorare per valutare l'impatto che il controllo dell'intervallo di sonno nei nodi ha sulla vita della rete-tempo. Hanno sostenuto che la quantità di tempo che un nodo trascorre dormendo deve essere regolata periodicamente per ottenere un consumo energetico equilibrato tra i nodi. Ciò è dovuto al fatto che a lungo l'intervallo di sonno consente di risparmiare energia ai nodi riceventi, ma porta a un elevato consumo di energia di nodi mittente a causa delle trasmissioni preambolo in strobo. Risultati ottenuti utilizzando un intervallo di sonno la formulazione dell'ottimizzazione del controllo, considerando il carico di traffico e la densità della rete, ha mostrato che È preferibile la regolazione dell'intervallo di sonno al volo, poiché può prolungare la durata della rete riducendo il rapido esaurimento della batteria dei nodi centrali dal punto di vista del routing.

*5.2.1 Analisi critica e questioni aperte.* Dalla revisione della letteratura, è evidente che la ricerca del ciclo di servizio negli UWSN è ancora agli inizi. In effetti, le possibili soluzioni per il ciclo di lavoro negli UWSN sembrano determinare i principi di progettazione degli algoritmi di controllo della topologia in questo caso. Per colpa di che, le soluzioni proposte hanno considerato topologie particolari, come in Hong et al. (2013), o paradigmi di routing, come in Coutinho et al. (2016c).

Negli UWSN, la progettazione di protocolli di controllo della topologia basati sul ciclo di lavoro deve considerare attentamente il sovraccarico di questa strategia, quindi una coppia di nodi comunicanti sarà attiva durante il trasmissione di messaggi. In questo contesto, questa sfida è fondamentale per due ragioni principali. Innanzitutto, la segnalazione il sovraccarico può ridurre le trasmissioni di messaggi a causa di un possibile aumento delle collisioni di messaggi.

Ciò richiederà ritrasmissioni, dove si verificheranno nuovi round di segnalazione. Secondo, la trasmissione Il costo della sion è un ordine di grandezza superiore ai costi di ricezione e di inattività. Pertanto, un alto la velocità di segnalazione potrebbe comportare un consumo energetico maggiore rispetto agli scenari senza ciclo di lavoro operazione.

Inoltre, la progettazione di un protocollo sui cicli di lavoro dovrebbe considerare l'incremento del già ritardo end-to-end elevato negli UWSN. Poiché è stato preferibilmente considerato il ciclo di lavoro asincrono negli UWSN, un nodo destinatario previsto potrebbe non essere attivo quando il nodo mittente ha un messaggio di dati trasmettere. Pertanto, la trasmissione verrà ritardata fino al risveglio del destinatario previsto.

Questo incremento di ritardo per hop potrebbe non essere tollerabile a volte, come nelle applicazioni in tempo reale. Nel in questo senso, è possibile esplorare il routing opportunistico, poiché è probabile che più di un nodo adiacente

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 23

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:23

continuare a inoltrare il messaggio di dati. Pertanto, un nodo mittente attenderà solo fino a quando un primo candidato il nodo si sveglia. In effetti, questo approccio è stato ampiamente esplorato nelle WSN terrestri (Cattani et al. [2016](#); Ghadimi et al. [2014](#)).

### 6 CONTROLLO TOPOLOGICO BASATO SULLA MOBILITÀ

Nelle reti di sensori sottomarini, il controllo della topologia può essere eseguito controllando la mobilità di alcuni nodi sottomarini. In questo approccio, l'idea di base è di muoverne uno o più sott'acqua nodi per nuove posizioni. Questo spostamento può essere effettuato con l'obiettivo di migliorare la rete funzionamento o prestazioni.

Nel WSN terrestre, il controllo della topologia basato sulla mobilità assistita è stato ampiamente progettato per ripristinare la connettività di rete (Younis et al. [2014](#)). Ciò è motivato dal fatto che in queste reti funziona, la connettività di rete è spesso interrotta da guasti ai nodi causati da entrambe le batterie esaurimento o problemi hardware. In questi scenari, vengono calcolate nuove posizioni per alcuni dispositivi mobili nodi. Successivamente, questi nodi si spostano nelle posizioni determinate e fungono da ponti tra i file due segmenti di rete precedentemente disconnessi.

Nel contesto degli UWSN, sono stati utilizzati algoritmi di controllo della topologia basati sulla mobilità assistita migliorare la raccolta dei dati (Basagni et al. [2014](#); Forero et al. [2014](#)), instradamento dei dati (Coutinho et al. [2013a](#), [2015a](#)), La copertura (Cayirci et al. [2006](#)), o anche localizzazione di nodi subacquei (Erol et al. [2007b](#)). AUV o nodi con capacità di regolazione della profondità possono essere utilizzati per questi scopi. L'uso degli AUV consente un controllo della topologia più flessibile ed efficiente, in quanto possono muoversi in qualsiasi direzione. Al contrario, i normali nodi sottomarini hanno una mobilità limitata. Di solito possono muoversi verticalmente, quello è, possono regolare le loro profondità. Tuttavia, questo approccio è più conveniente degli AUV e può pertanto essere distribuito in modi diversi.

Il controllo della topologia basato sulla mobilità assistita è probabilmente la metodologia più potente per cambiare la topologia di rete. Possiamo affermare che il controllo della topologia precedentemente discusso le metodologie apportano modifiche "leggere" alla topologia di rete abilitando o disabilitando collegamenti di comunicazione. Non ci sono infatti cambiamenti fisici per quanto riguarda la posizione dei nodi, limitare i possibili nodi vicini di un dato nodo. Al contrario, utilizzando la mobilità assistita basata controllo della topologia, i nodi possono essere riposizionati e, di conseguenza, un controllo della densità più efficace può essere realizzato, abilitando una nuova serie di nodi vicini. Pertanto, questo approccio può raggiungere prestazioni migliori quando il controllo della topologia viene utilizzato per migliorare la copertura.

Il controllo della topologia che utilizza un approccio basato sulla mobilità assistita deve selezionare attentamente i nodi a cui rivolgersi essere spostati e la posizione in cui andranno a finire. Nella maggior parte delle distribuzioni di rete, lì sono i costi associati allo spostamento dei nodi mobili, come il costo dell'energia. Questi costi dovrebbero essere considerato quando l'algoritmo di controllo della topologia seleziona i nodi e le nuove posizioni per essi. Questo è impedire che i nodi mobili si scarichino rapidamente le batterie, il che potrebbe causare interruzioni nella connettività di rete. Pertanto, indipendentemente dall'uso di AUV o nodi sottomarini con capacità di regolazione della profondità negli UWSN, la principale sfida di ricerca nella progettazione di mobili Il controllo della topologia basato sull'assistenza tecnica consiste nel proporre protocolli efficienti per la selezione dei nodi spostato e determinando le loro nuove posizioni.

Di seguito, discutiamo due approcci di controllo della topologia basata sulla mobilità assistita, summarized nella tabella [8](#), a seconda del tipo di nodi mobili considerato. Le soluzioni presentate in questo sezione sono qualitativamente confrontati nella tabella [9](#).

6.1 Controllo della topologia basato sulla traiettoria

Gli algoritmi di controllo della topologia per gli UWSN in questa categoria hanno utilizzato gli AUV. In questo approccio, un file AUV viaggia all'interno dell'area, visitando una serie di nodi, che creeranno e termineranno la comunicazione collegamenti cationici mentre si muove. Questa metodologia di controllo della topologia è stata utilizzata per determinare l'idoneità

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

19:24

RWL Coutinho et al.

Tabella 8. Riepilogo della metodologia di controllo della topologia basata sulla mobilità assistita

Sottocategoria	Soluzione di base	Sfide
Regolazione della profondità	I nodi del sensore subacqueo vengono spostati verticalmente per nuove posizioni.	Mobilità; ritardo del movimento; energia costo per movimento verticale; implementazioni a bassa densità; i cambiamenti nell'area di copertura del rilevamento.
Basato sulla traiettoria	Gli AUV seguono traiettorie ben definite verso raccogliere dati dai nodi dei sensori subacquei.	Costo alto; limitazione energetica; localizzazione e monitoraggio.

Topologia UWSN riducendo nodi nulli (Ghoreyshy et al. [2017](#)), migliorare la raccolta dei dati (Forero et al. [2014](#)) o consentire applicazioni subacquee molto più ricche che si basano su contenuti multimediali (Fan et al. [2016](#)). In quest'ultimo caso, AUV dotati di comunicazione ottica e acustica visitano sott'acqua nodi del sensore e raccolgono dati da essi tramite collegamenti ottici ogni volta che vengono associati al file sensore odo.

Ques a architettura eterogenea ha lo scopo di superare la natura limitata dalla larghezza di banda di canale acustico subacqueo, che può supportare la trasmissione dei dati di singole letture ambientali variabili (ad esempio, temperatura, salinità e livello di pressione). Tuttavia, è insufficiente per la manipolazione contenuto multimediale, ottenuto da telecamere ad alta risoluzione, nelle applicazioni UWSN.

In queste applicazioni, la comunicazione ottica è preferibile per lo scarico dei dati. Questo perché il canale ottico può raggiungere velocità di trasmissione dati elevate, dell'ordine di diversi megabit al secondo, in tempi brevi distanze. Al contrario, la comunicazione acustica giocherà ancora un ruolo significativo in questi AUV assistiti architetture UWSN eterogenee. Ad esempio, verrà utilizzato per la trasmissione del controllo dati tra i nodi a lungo raggio, per fornire informazioni sui dati rilevati e per coordinare i Traiettorie AUV. Pertanto, la traiettoria dell'AUV può essere determinata dall'esistenza di punti caldi.

Alcune delle principali sfide della ricerca, quando si progettano approcci di controllo topologico utilizzando AUV, derivano dalla progettazione di algoritmi di pianificazione del percorso AUV. Poiché è previsto un costo associato per Movimento AUV e ritardo per lo spostamento dell'AUV dalla sua posizione attuale al nodo per essere visitato, è necessario proporre soluzioni efficienti di pianificazione del percorso AUV per minimizzare i costi e raggiungere le aspettative dell'utente desiderate in termini di dati raccolti. Inoltre, queste soluzioni devono considerare i vincoli e le sfide tecnologici e ambientali, come l'energia, i dati stoccaggio, velocità del vento e rugosità della superficie dell'acqua.

Un tradizionale approccio di controllo topologico basato su AUV utilizza il valore delle informazioni (VoI) per determinare la traiettoria di un AUV nelle reti di sensori sottomarini. In questo approccio, i dati raccolti riceve un VoI che diminuirà col passare del tempo, ovvero la sua importanza per l'applicazione pieghe quando diventa obsoleto. Basato sulla funzione VoI, il tempo rilevato in precedenza i dati sono stati raccolti e la velocità di movimento dell'AUV, il suo percorso è determinato con l'intenzione di massimizzare il VoI complessivo dei dati forniti all'applicazione.

A questo proposito, Khan et al. ([2014](#)) ha proposto l'uso di una base esponenziale monotonicamente de-funzione di cordonatura per calcolare il VoI per la pianificazione del percorso AUV. Considerando il VoI ideato funzione, i seguenti tre algoritmi di pianificazione del percorso AUV differiscono nella selezione del successivo nodo da visitare: (i) un nodo vicino al nodo attualmente visitato, (ii) il successivo nodo di massimo importanza (VoI alto) e (iii) un nodo selezionato casualmente. Khan et al. ([2015](#)) hanno esteso il loro lavoro utilizzando una funzione VoI concepita per la proposta di sei diverse euristiche per la pianificazione del percorso di più lavelli mobili AUV. Infine, Khan et al. ([2016](#)) ha incorporato il programma di resurfacing AUV nel problema della pianificazione del percorso AUV. Il programma di resurfacing ottimizzato dell'AUV è essenziale per lo scarico di dati sensibili al fattore tempo (ad esempio, applicazioni di sorveglianza subacquea) nel lavandino. Per in tal modo, gli autori hanno esteso la loro funzione VoI a base esponenziale considerando il timestamp quando il blocco viene elaborato dall'agente di elaborazione finale. Pertanto, due euristiche proposte lo faranno

Tabella 9. Algoritmi di controllo della topologia basata sulla mobilità assistita

Categoria e Proposta	Compito	Approccio	Obbiettivo	Vincolo	Potenziale Applicazioni
Basato su AUV (Khan et al. <a href="#">2014</a> )	Dati tempestivi collezione	Proponi un VoI su base esponenziale funzione e LPP, GPP, e percorso RPP percorso AUV pianificazione euristica per selezione del nodo successivo a essere visitato dall'AUV.	Migliora i dati raccolta e ridurre il ritardo di consegna dei dati recentemente ottenuti	Energia capacità del AUV	Con vincolo di ritardo applicazioni che richiedono dati ad alta fedeltà consegna, come l'olio monitoraggio delle fuoriuscite
Basato su AUV (Khan et al. <a href="#">2015</a> )	Dati tempestivi collezione	Proponi i seguenti sei euristica per VoI-based più lavelli mobili (AUV) pianificazione del percorso per i dati raccolta: (i) visita al nodo successivo in base al VoI massimo, (ii) tempo di giro ridotto al minimo per il percorso traversal, (iii) visita al nodo successivo basato sul VoI massimo con visita di un vicino intermedio, (iv) bilanciamento del carico in termini di nodi visitati, (v) equilibrato distribuzione dei nodi in termini di VoI e (vi) mappa di partizionamento sulla base di prossimità del nodo.	Migliora i dati collezione	Energia capacità di più AUV	Con vincolo di ritardo applicazioni che richiedono dati ad alta fedeltà consegna, come l'olio monitoraggio delle fuoriuscite
Basato su AUV (Khan et al. <a href="#">2016</a> )	Dati tempestivi collezione	Proporre di incorporare il Tempo di resurfacing AUV in Funzione VoI e percorso AUV algoritmo di pianificazione	Migliora i dati raccolta e ridurre i dati ritardo nella consegna nel sensibile al tempo applicazioni	Energia capacità di più AUV	Time-sensitive sott'acqua monitoraggio applicazioni, come sott'acqua sorveglianza e obiettivo militare applicazioni di monitoraggio
Basato su AUV (Gjanci et al. <a href="#">2017</a> )	Dati collezione	Sviluppa il percorso AUV trovare l'euristica GAAP per la selezione del nodo successivo da visitare. Il prossimo nodo la selezione è basata su VoI previsto dei nodi in l'orario di arrivo dell'AUV.	Migliora i dati collezione	Energia capacità del AUV	Con vincolo di ritardo applicazioni che richiedono dati ad alta fedeltà consegna
Basato su AUV (Forero et al. <a href="#">2014</a> )	Dati collezione	Sviluppa più percorsi AUV pianificazione considerando il capacità energetica degli AUV, tempo di ricarica della batteria e la loro conservazione dei dati capacità.	Migliora i dati raccolta e ridurre i dati ritardo nella consegna	Energia capacità di più AUV	Con vincolo di ritardo applicazioni che richiedono dati ad alta fedeltà consegna
Profondità regolazione (O'Roarke et al. <a href="#">2012</a> )	Dati raccolta	Sviluppa l'AquaNode nodo del sensore subacqueo, che ha un winch-based apparecchio per verticale movimento (profondità regolazione).	Sensing e raccolta dati di eventi di interesse	-	Generale sott'acqua monitoraggio applicazioni
Profondità regolazione (Jaffe e Schurgers <a href="#">2006</a> )	Dati raccolta	Sviluppa il nodo Drogue, che ha una base di galleggiamento apparecchio per verticale movimento (profondità regolazione).	Sensing e raccolta dati di eventi di interesse	-	Generale sott'acqua monitoraggio applicazioni

(Continua)



Tabella 9. Continua

Categoria e Proposta	Compito	Approccio	Obbiettivo	Vincolo	Potenziale Applicazioni
Profondità regolazione (Basha et al. <a href="#">2014</a> )	Routing	Progettare otto algoritmi per selezionare i dispositivi AquaNode che emergerebbe per i dati consegna tramite radio wireless basato sulla frequenza canali.	Migliora i dati consegna	Costo energetico per la profondità regolazione	Non mobile a lungo termine applicazioni che richiedono dati ad alta fedeltà consegna
Profondità regolazione (Coutinho et al. <a href="#">2013b</a> )	Routing	Sviluppa il protocollo DCR per gli UWSN non mobili, che impiega una profondità procedura di regolazione a affrontare la comunicazione problema della regione vuota.	Migliora i dati instradamento	Verticale movimento capacità ed energia costo per profondità regolazione	Non mobile a lungo termine sott'acqua monitoraggio applicazioni, come il monitoraggio di sott'acqua attrezzature in mare aperto esplorazione di petrolio / gas industrie
Profondità regolazione (Coutinho et al. <a href="#">2015a</a> )	Routing	Progettare il DTC e il CTC basato sulla regolazione della profondità algoritmi di controllo della topologia per disconnesso e vuoto riposizionamento dei nodi.	Ottimizzare Rete connettività e dati instradamento	Verticale movimento capacità ed energia costo per profondità regolazione	Non mobile a lungo termine sott'acqua monitoraggio applicazioni, come il monitoraggio di sott'acqua apparecchiature di petrolio / gas offshore industrie di esplorazione

determinare un percorso AUV ottimizzato e un programma di riemersione considerando il ritardo, non solo da la generazione dei dati e la loro raccolta da parte dell'AUV ma anche dalla sua generazione fino alla consegna all'agente di elaborazione finale.

Gjanci et al. ([2017](#)) ha proposto una formulazione di programmazione lineare intera (ILP) per determinare l'AUV percorsi che massimizzano il VoI dei dati raccolti. La formulazione ILP proposta considera fatti realistici tori di UWSN e applicazioni, come velocità di comunicazione, distanze e vincoli di superficie di AUV. Dalla formulazione ILP, l'euristica GAAP (Greedy and Adaptive Path Finding) è proposto, in cui la selezione del nodo successivo che sarà visitato dall'AUV è basata sull'ex-VoI atteso del nodo all'arrivo dell'AUV. Utilizzando l'euristica GAAP, l'AUV decide di farlo visitare un nodo solo se i dati raccolti aumenteranno il VoI dei dati che verranno consegnati al Lavello. Al contrario, Forero et al. ([2014](#)) ha proposto un algoritmo di pianificazione dinamica del percorso per la traiettoria coordinamento di più AUV. Il loro algoritmo proposto considera la capacità energetica degli AUV, tempo di ricarica della batteria e capacità di memorizzazione dei dati. Inoltre, l'algoritmo dinamicamente indirizza gli AUV invece di utilizzare una traiettoria predeterminata, che consente loro di adattarsi ai cambiamenti in condizioni di rete (ad esempio, volume di dati da raccogliere, energia rimanente negli AUV e tempi di ricarica della batteria).

La traiettoria di un AUV influenzerà la topologia della rete. Man mano che l'AUV si sposta, vengono creati nuovi collegamenti ated ma le sue precedenti interconnessioni andranno perse. In questo contesto, l'uso delle funzioni VoI è utile quando si determina il percorso AUV. Oltre al ritardo, possono essere i requisiti di altre applicazioni considerato verso una migliore qualità del servizio (QoS) nel processo di raccolta dei dati. Però, le soluzioni attuali hanno trascurato il costo dell'energia, che è un aspetto importante degli UWSN. L'en-Il consumo di energia per quanto riguarda la mobilità AUV dovrebbe essere considerato nelle funzioni VoI. Inoltre, la pianificazione del percorso AUV dovrebbe considerare lo stato corrente della batteria dei raccoglitori di dati subacquei verso un consumo energetico equilibrato dei nodi sensori subacquei.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.



**6.1.1 Analisi critica e questioni aperte.** Come discusso in precedenza, l'uso di AUV-aided il controllo della topologia è stato proposto sia per la raccolta tempestiva dei dati che per abilitare la multimedialità applicazioni di reti di sensori subacquee basate sui contenuti. Tuttavia, il design efficiente di questi Gli algoritmi di controllo della topologia che utilizzano AUV mobili devono ancora affrontare diverse sfide di ricerca, poiché noi discuti di seguito.

Un problema critico è il problema della pianificazione del percorso AUV su richiesta (o reattiva). In generale, il percorso di un AUV può essere generato staticamente (proattivamente) o dinamicamente (reattivamente). Nel primo caso, la traiettoria dell'AUV è pianificata prima dell'inizio del suo funzionamento. Nel fare quindi, le informazioni riguardanti gli ostacoli noti in precedenza sono considerate dagli algoritmi di pianificazione del percorso quando calcolo di traiettorie efficienti. In quest'ultimo, l'algoritmo pianifica le traiettorie AUV basate su informazioni parziali conosciute dall'ambiente o aggiorna le traiettorie AUV in reazione ai cambiamenti nell'ambiente o negli obiettivi.

Negli UWSN, sono desiderati algoritmi di controllo della topologia di pianificazione del percorso AUV reattivi. Questo è dovuto all'elevata variabilità del canale acustico sottomarino e dell'ambiente. In questo scenario, un- i nodi derwater potrebbero essere inaccessibili in un determinato momento, a causa di guasti ai nodi o qualità di collegamento variabili nel tempo. Pertanto, in uno scenario che impiega traiettorie prepianificate per gli AUV, possono visitare nodi non necessari perché i nodi si sono guastati o non hanno ottenuto i dati dall'ambiente circostante nodi o punti di raccolta. In questo caso, un algoritmo di controllo della topologia di pianificazione del percorso AUV reattivo può determinare una nuova traiettoria, poiché il decisore percepisce il verificarsi di tali eventi.

Un'altra sfida critica affrontata durante la progettazione del controllo della topologia basato sulla mobilità assistita l'utilizzo di AUV è il coordinamento di più AUV. In alcune implementazioni di reti sottomarine, È possibile distribuire più AUV per ottenere prestazioni migliori, ad esempio un ritardo ridotto per i dati recupero. Pertanto, c'è la necessità della localizzazione degli AUV e del coordinamento della traiettoria, in particolare in algoritmi di pianificazione del percorso AUV reattivi. Ciò evita la situazione di un AUV che visita un nodo immediatamente dopo che il nodo ha scaricato i dati su un AUV precedente.

Tuttavia, le caratteristiche del canale acustico sottomarino e dell'ambiente potrebbero diminuire le prestazioni di questi approcci. Quando vengono considerati più AUV, un overhead per coordinarli potrebbe esistere, come accennato in precedenza. La trasmissione frequente, utilizzando un lungo com intervalli di comunicazione dei messaggi di controllo per il coordinamento AUV, possono aumentare le collisioni di messaggi e sprecare energia dei nodi del sensore subacqueo, per ricevere o trasmettere questi messaggi di controllo.

## 6.2 Controllo della topologia basato sulla regolazione della profondità

Negli UWSN, alcuni algoritmi di controllo della topologia utilizzano il movimento verticale (regolazione della profondità capacità) dei nodi di sensori subacquee per eseguire il controllo della topologia. L'idea di base dietro questo approccio consiste nel modificare la topologia della rete controllando in modo coordinato la profondità di alcuni nodi del sensore subacqueo.

I recenti nodi di sensori subacquee sono stati dotati di capacità di regolazione della profondità. Per esempio, l'AquaNode (O'Rourke et al. [2012](#)) utilizza un apparato basato su verricello che gli consente di muoversi verticalmente. In questo meccanismo, ogni nodo sottomarino è fissato a una boa di superficie o un'ancora. Quindi, il movimento verticale del nodo si ottiene regolando il cavo. Il nodo Drogue (Jaffe e Schurgers [2006](#)), tuttavia, comporta un apparato di galleggiamento per il movimento verticale. In questo approccio, una boa interna viene gonfiata da una pompa, una vescica o un altro dispositivo. Questo cambia la galleggiabilità del nodo rispetto all'acqua. Quindi, il nodo emerge. Ogni approccio ha vantaggi e svantaggi, considerando la velocità di movimento e il costo energetico per spostarlo.

Un aspetto importante degli algoritmi di controllo della topologia in questa categoria è che possono organizzare il file topologia di rete in modo *proattivo* o *reattivo*, come discusso di seguito. In proac- algoritmi attivi, la regolazione della profondità dei nodi selezionati viene eseguita immediatamente dopo il distribuzione di rete. In base alla posizione dei nodi distribuiti in modo casuale, un sottoinsieme è

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

determinato a essere spostato a nuove profondità per raggiungere l'obiettivo desiderato (p. es., miglioramento della coverage o connettività di rete). Inoltre, per ottenere risultati migliori, una regolazione proattiva della profondità– il controllo della topologia basato può essere eseguito utilizzando le informazioni dell'intera topologia di rete.

Questa procedura può essere descritta come segue. Innanzitutto, viaggerà un AUV (o un insieme di essi) l'area di distribuzione e raccogliere le informazioni sulla posizione dei nodi distribuiti. Questo può essere fatto insieme ai sistemi di localizzazione dei nodi sottomarini assistiti da AUV (Erol et al. [2007a](#)). Secondo, il

l'algoritmo di controllo della topologia determinerà l'insieme di nodi che devono essere spostati, così come i loro nuove profondità. Questa selezione si basa sulla topologia iniziale e sugli obiettivi desiderati. In terzo luogo, gli AUV possono essere impiegati per informare i nodi selezionati di spostarsi a nuove profondità.

Negli algoritmi reattivi, le decisioni di regolazione della profondità vengono prese localmente in alcuni nodi. Un dato nodo, in base a un evento che attiva l'algoritmo di controllo della topologia, determina se deve o meno spostarsi. Questa decisione sarà motivata dallo stato della rete o dalla topologia locale. Per questo, il nodo utilizzerà le informazioni dal suo quartiere. Successivamente, in base a determinati criteri, il nodo selezionerà un file nuova profondità. Gli algoritmi di controllo della topologia basati sulla regolazione della profondità reattiva sono preferibili nei dispositivi mobili UWSN. Ad esempio, possono essere utilizzati per ripristinare la connettività di rete, come nodi involontariamente muoversi secondo le correnti oceaniche.

Di seguito vengono illustrate alcune soluzioni preliminari che hanno utilizzato questo approccio per il controllo della topologia. Di conseguenza, O'Rourke et al. (2012) ha proposto l'uso della regolazione della profondità dei nodi per migliorare consegna dei dati. Gli autori hanno suggerito un nodo sensore subacqueo multimodale dotato di entrambi modem subacquei acustici e a radiofrequenza. Pertanto, ogni nodo può fornire dati tramite comunicazione acustica multihop o può emergere e utilizzare la comunicazione in radiofrequenza. Di Più-oltre, O'Rourke et al. (2012) ha proposto una serie di algoritmi per calcolare l'energia e ritardare i compromessi di nodi, con l'obiettivo di selezionarne un sottoinsieme per far emergere e trasmettere dati tramite radio canali. I risultati preliminari hanno mostrato che l'algoritmo avido, che solleva i nodi più vicini a la superficie, può ridurre i costi di comunicazione e aumentare la durata della rete.

Allo stesso modo, Basha et al. (2014) ha proposto una serie di otto algoritmi per selezionare quali nodi possono viso. In questo insieme di algoritmi, ci sono sia algoritmi centralizzati che completamente distribuiti quelli. L'idea è quella di selezionare una strategia di comunicazione efficace e progettare un instradamento dei dati efficiente protocollo. Per selezionare la strategia di comunicazione (cioè, comunicazione subacquea o radio di superficie comunicazione), gli algoritmi proposti considerano il consumo energetico del movimento verticale ed i costi energetici relativi alla comunicazione acustica e in radiofrequenza.

Coutinho et al. (2013a, 2013b, 2014a) ha proposto l'uso della regolazione della profondità per alcuni nodi migliorare l'instradamento dei dati subacquei. Coutinho et al. (2013a) ha proposto gli algoritmi CTC e DTC per il controllo della topologia tramite regolazione della profondità di alcuni nodi per ridurre la frazione di isolato nodi (ad esempio, senza un multipath per un sink) in distribuzioni UWSN sparse.

Coutinho et al. (2013b) ha proposto il routing geografico DCR (Depth-Controlled Routing) tocol, che utilizza il controllo della topologia basato sulla regolazione della profondità per gestire i nodi vuoti. Inoltre, Coutinho et al. (2014a) ha proposto il protocollo di routing opportunistico GEDAR, che utilizza la topologia controllo basato sulla regolazione della profondità di alcuni nodi, per una consegna efficiente dei dati in dispositivi mobili impegnativi UWSN. Nonostante le differenze significative negli algoritmi di controllo della topologia proposti e UWSN scenari, il principio di progettazione del movimento verticale è stato in grado di far fronte alle carenze del canale acustico e instradamento geografico.

Negli approcci precedenti, possono verificarsi due problemi critici: primo, elevato consumo di energia e secondo, i cambiamenti nell'area di copertura del rilevamento. Il costo dell'energia è un difetto in alcuni dei tecnologie di movimento verticale del nodo dell'acqua. Infatti, nelle soluzioni precedenti, il costo dell'energia di rete era eccessivo nelle distribuzioni di rete molto sparse. Una tendenza simile è stata riscontrata nelle analisi eseguita in Coutinho et al. (2014b). Questo perché alcuni nodi devono essere spostati per lunghe distanze. Pertanto, questo approccio potrebbe ridurre la durata di UWSN. Inoltre, poiché alcuni nodi vengono spostati

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 29

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:29

dalle profondità dispiegate, questo approccio può modificare in modo significativo l'area di copertura iniziale. Se non esiste un controllo appropriato dei nodi che emergeranno, l'applicazione potrebbe sperimentare un file mancanza di informazioni sugli eventi che accadono in acque profonde.

*6.2.1 Analisi critica e questioni aperte.* Anche se l'approccio del controllo della topologia è promettente Per gli UWSN, alcune carenze critiche devono essere ulteriormente studiate. Come già detto, c'è un costo energetico associato al movimento verticale. Pertanto, modelli analitici e devono ancora essere condotte indagini approfondite per caratterizzare meglio gli scenari in cui approfondire il controllo della topologia basato sulla regolazione è più efficiente.

Inoltre, la regolazione della profondità dei nodi dovrebbe essere eseguita in modo controllabile. Il l'algoritmo di controllo della topologia deve garantire che l'effetto cascata, durante il movimento verticale, non accadrà. L'effetto cascata può verificarsi quando viene calcolata la regolazione della profondità di un nodo

rispetto alla profondità dei nodi vicini. Accadrà quando un nodo  $A$ , ad esempio, decide per spostarsi a una nuova profondità, e un nodo  $B$  vicino, basato sulla nuova posizione del nodo  $A$ , determina mine che dovrebbe muoversi anche. Quando entrambi i nodi raggiungono la nuova profondità,  $A$  osserverà che  $B$  è dentro la vicinanza e potrebbe decidere di trasferirsi di nuovo. Questa procedura verrà quindi ripetuta all'infinito.

Inoltre, possiamo osservare dalla revisione della letteratura che è stata dedicata meno attenzione il problema di cambiare la copertura di rilevamento. In questo senso, la tecnologia che consente il verticale il movimento dei nodi sottomarini avanza e riduce il costo energetico per il movimento; quindi, Gli algoritmi di controllo della topologia possono essere proposti per una regolazione della profondità in tondo. Di conseguenza, un- i nodi derwater potrebbero eseguire una regolazione generale iniziale per migliorare l'area di copertura del rilevamento in termini di profondità monitorate. Dopodiché, ogni volta che un insieme di nodi rileva un evento, circostante o nodi ridondanti possono regolare le proprie profondità per migliorare la consegna dei dati senza compromettere il rilevamento della copertura. Al termine del rilevamento dell'evento, possono tornare alle posizioni originali.

## 7 FUTURE DIREZIONI DELLA RICERCA

Sebbene sia stata condotta una quantità significativa di ricerche sul controllo della topologia nel wireless ci sono reti ad hoc, reti di sensori e, più recentemente, reti di sensori subacquee diverse direzioni di ricerca che richiedono ulteriori esplorazioni, in particolare negli UWSN. Insieme a in questo sondaggio, abbiamo identificato e discusso diverse direzioni di ricerca relative alle sfide di ciascuna metodologia proposta per progettare algoritmi di controllo della topologia. Qui, discutiamo alcuni aperti problemi di ricerca che giustificano ulteriori indagini, indipendentemente dal topol- metodologie di controllo dell'organizzazione.

### 7.1 Controllo della topologia localizzata

Nelle reti wireless ad hoc e di sensori, il controllo della topologia viene tradizionalmente eseguito sull'insieme topologia di rete, anche quando è distribuita e include informazioni locali. Un'eccezione è quando è fatto per il ripristino dopo un'interruzione di connettività nodo (Younis et al. [2014](#)). Finora, topologia il controllo in UWSN imita questo approccio. Tuttavia, le prestazioni di un UWSN potrebbero essere ridotte determinato dal sovraccarico e dal costo energetico per lo scambio di informazioni sui nodi e sulla topologia.

Negli UWSN, un esempio di una strategia interessante è un controllo della topologia localizzato. Un localizzato controllo della topologia significa che l'organizzazione della topologia si verifica solo nelle parti critiche del reti. A causa delle caratteristiche del canale acustico subacqueo, la trasmissione di i pacchetti di controllo per la scoperta della topologia e lo scambio di informazioni potrebbero ridurre la rete prestazione. Il sovraccarico per il controllo della topologia aumenterà le collisioni di pacchetti e le esigenze per ritrasmissioni di pacchetti. Al contrario, un controllo della topologia potrebbe essere eseguito esclusivamente in un file poche parti della rete. Quindi, l'alto sovraccarico e le sue conseguenze indesiderate, che potrebbero

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

tuttavia supera i vantaggi del controllo della topologia, è ridotto e limitato a determinate regioni e nodi che necessitano di una migliore organizzazione della topologia locale.

In questa direzione, Coutinho et al. ([2016d](#)) ha proposto la metrica di centralità PCen per trovare nodi di domanda. La metrica PCen identifica i nodi altamente richiesti dal punto di vista di instradamento opportunistico (cioè quei nodi con un'alta probabilità di carico di traffico trasportato). Gli autori ha affermato che il controllo della topologia più vicino ai nodi centrali alti, identificato dalla metrica PCen, può essere fatto per migliorare la consegna dei dati e ridurre il consumo di energia. In questo senso, un intelligente e è possibile utilizzare una regolazione efficiente dell'intervallo di sonno sui nodi critici per ottenere il bilanciamento energetico e per prolungare la vita della rete. Inoltre, l'uso di un AUV che viaggia intorno ai nodi critici verso raccogliere dati può migliorare le prestazioni dell'applicazione.

### 7.2 Algoritmi di controllo della topologia ibrida e adattiva

L'ambiente sottomarino e il canale acustico sono altamente dinamici. Inoltre, il underwa- Il canale acustico è caratterizzato dalla qualità del collegamento variabile nel tempo. Pertanto, ibrido e / o Gli algoritmi di controllo della topologia adattiva potrebbero essere più efficienti per gli UWSN, invece del classico approccio. In questa direzione, gli algoritmi di controllo della topologia devono essere in grado di reagire ai cambiamenti in collegare la qualità, l'intensità del rumore e altri fattori dell'ambiente sottomarino e della comunicazione a mantenere la QoS richiesta delle applicazioni.

Ad esempio, è possibile eseguire un controllo proattivo della topologia basato sulla mobilità assistita per evitare comunicazioni vuote regioni di instradamento geografico negli UWSN. Pertanto, la topologia UWSN risultante fornirà un'elevata velocità di consegna dei pacchetti, poiché i pacchetti di dati non verranno più scartati dai nodi nulli. Inoltre, la progettazione congiunta del controllo topologico basato sul controllo di potenza può essere eseguita in modo reattivo per gestire la variabilità temporale dei collegamenti acustici. Pertanto, ogni nodo regolerà la propria trasmissione di potenza per garantire che il nodo successivo appropriato riceva il pacchetto di dati.

La grande sfida, quindi, sarà raccogliere in modo efficiente le informazioni da utilizzare per l'ibrido e controllo della topologia adattiva. Per una progettazione congiunta di mobilità assistita e basata sul controllo della potenza di controllo della topologia, si potrebbero richiedere informazioni sul vicinato, sulla qualità dell'acustica dei link tra i nodi, l'energia residua di ogni vicino per determinare se può essere spostata a una nuova profondità e il carico di traffico. La raccolta efficiente di tali informazioni eterogenee lo farà essere impegnativo per le caratteristiche del canale acustico subacqueo.

### 7.3 Controllo della topologia alla base di altre tecniche

Gli algoritmi di controllo della topologia possono supportare altre tecniche utilizzate per migliorare le prestazioni di un file UWSN. Più specificamente, la topologia di una UWSN può essere controllata per ottenere prestazioni migliori di un algoritmo o di una tecnica che sta eseguendo un'attività critica per l'applicazione di rete. Nel di seguito, discuteremo di come il controllo della topologia migliorerebbe le prestazioni della codifica di rete e rilevamento compresso negli UWSN.

La codifica di rete è stata proposta per mitigare la perdita di pacchetti, ridurre i ritardi e migliorare la rete velocità di trasmissione di sistemi di rete senza fili. Utilizzando la rete di codifica, selezionate *la codifica nodi* per operazioni di codifica di moduli mediante una funzione di codifica di rete (ad esempio, codifica casuale lineare e la codifica XOR) per combinare i dati ricevuti da flussi di dati distinti che li attraversano. A destinazione, i pacchetti ricevuti vengono quindi decodificati dalla conoscenza della codifica considerata funzione e i messaggi utilizzati per creare il payload specificato del pacchetto ricevuto. Inoltre, perso i pacchetti di dati possono essere recuperati presso i ricevitori attraverso la decodifica di altri pacchetti combinati, che superano il tradizionale controllo degli errori di richiesta di ripetizione automatica (ARQ).

Un'altra tecnica che è stata recentemente proposta per ridurre la quantità di traffico effettuato nelle reti di sensori subacquee è il rilevamento compresso. Utilizzando questo approccio, ogni nodo del sensore trasmette la sua osservazione a un nodo centrale denominato *centro di fusione*. In determinate condizioni in

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 31

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:31

il centro di fusione, un segnale sparso può essere recuperato da un piccolo numero di campioni casuali. Questo è possibile perché molti tipi di informazioni hanno una proprietà chiamata *scarsità* in trasformazione processo (Li et al. [2013b](#)). Poiché un piccolo numero di campioni è sufficiente per recuperare le informazioni riguardo al campo fisico, questa tecnica riduce il numero di dati raccolti e trasmessi, e è in grado di tollerare un certo grado di perdita di pacchetti.

Nel contesto precedente, un controllo della topologia appropriato può aumentare le opportunità di codifica di rete e la comunicazione tra i nodi sottomarini ordinari e il nodo del centro di fusione. Mobilità-algoritmi di controllo topologico basati su AUV o spostamento verticale di alcuni nodi sottomarini può controllare la topologia per una migliore comunicazione con il centro di fusione quando viene compressa viene utilizzato il rilevamento o creare la classica topologia a farfalla, in cui il throughput di rete è massimo misurato quando viene utilizzata la codifica di rete. Inoltre, un algoritmo di controllo della topologia può eseguire il diritto gestione dell'intervallo di sonno dei nodi per aumentare le opportunità di comunicazione tra nodi sorgente e un nodo centrale che funge da nodo di codifica o nodi del centro di fusione. Inoltre, Gli algoritmi di controllo della topologia basati sul controllo della potenza possono selezionare una potenza di trasmissione adatta per nodi di codifica per migliorare la probabilità di consegna di un pacchetto codificato.

### 7.4 Tecnologie eterogenee per la comunicazione wireless subacquee

Per ottenere prestazioni migliori e garantire il QoS, le comunicazioni subacquee ibride hanno guadagnato l'attenzione. Di conseguenza, i nodi e i veicoli dei sensori subacquee sono dotati di pochi modem che consentono la comunicazione wireless subacquee utilizzando diverse tecnologie. Per esempio, Han et al. ([2014](#)) ha proposto la combinazione di comunicazione acustica e ottica negli AUV, mirati per abilitare lo streaming video in tempo reale da reti wireless subacquee.

Ulteriori ricerche sul controllo della topologia negli UWSN dovrebbero affrontare lo scenario precedente di

tecnologia eterogenea per la comunicazione wireless subacquea. La prima domanda di ricerca, ciò che dovrebbe essere affrontato è questo: come dovremmo considerare la topologia UWSN? In questi scenari, potremmo avere più topologie date dall'interconnessione dei nodi per mezzo di ciascuna tecnologia di comunicazione wireless subacquea o una topologia di rete complessiva data in modo univoco dall'interconnessione dei nodi, indipendentemente dal tipo di collegamento wireless.

Pertanto, il controllo della topologia deve essere effettuato considerando le molteplici caratteristiche che deriverà dall'uso congiunto di tecnologie di comunicazione wireless subacquee eterogenee. Ad esempio, è possibile utilizzare collegamenti di comunicazione a lungo raggio, abilitati dal canale acustico scoperta del quartiere e scambio di informazioni. Pertanto, il controllo della topologia assistita dalla mobilità può essere eseguito per ottenere un migliore allineamento dei nodi per ottimizzare la consegna dei dati tramite ottica comunicazione.

### 7.5 Nodi di sensori subacquei eterogenei

Recentemente, gli sforzi di ricerca sono stati dedicati all'abilitazione di Internet of Underwater Things (IoUT) (Petrioli et al. 2014). L'IoUT sarà composto da oggetti subacquei connessi intelligenti che saranno utilizzati per un migliore monitoraggio ed esplorazione delle vaste aree d'acqua inesplorate. Il carattere principale di questo scenario immaginato è l'eterogeneità in termini di risorse in smart underwater dispositivi. In una singola implementazione, potremmo avere un basso costo e risorse limitate sott'acqua nodi sensore, drifter, nodi sensori subacquei ancorati, sottomarini intelligenti e AUV, per posizione, per una migliore comprensione dell'oceano profondo.

In questo caso, la sfida per il controllo della topologia sarà quella di determinare topologie di rete efficienti migliorare i servizi e le applicazioni di rete, considerando le diverse caratteristiche e capacità che deriveranno dall'uso di nodi di sensori subacquei eterogenei. Per esempio, Gli AUV possono essere utilizzati come nodi chiave per il controllo della topologia basato sulla mobilità assistita, mentre sono ancorati i nodi possono aiutare l'organizzazione della topologia attraverso la regolazione della potenza di trasmissione. senza fili

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 32

19:32

RWL Coutinho et al.

Il controllo della topologia basato sulla gestione dell'interfaccia dovrebbe considerare l'eterogeneità, in termini di capacità energetica, dei nodi sottomarini. In teoria, è preferibile mantenere gli AUV altrettanto addormentati il più possibile per risparmiare energia, poiché hanno già un costo energetico elevato per spostarsi. Tuttavia, questa topologia l'approccio di controllo potrebbe interrompere la connettività di rete quando gli AUV sono considerati per i dispositivi mobili raccolta dati in nodi ancorati.

### 7.6 Reti di sensori subacquei basati su SDN

Un'altra tendenza recente della ricerca sugli UWSN è la proposta di sensori subacquei definiti da software reti (Akyildiz et al. 2016; Demirors et al. 2015; Dol et al. 2017). Sensore subacqueo basato su SDN le reti offrono maggiore flessibilità e facilitano il dispiegamento simultaneo di diversi subacquei applicazioni. Attualmente, gli UWSN basati su SDN sono stati proposti per supportare reti differenziate servizi di lavoro per queste applicazioni simultanee. In questo contesto, dovrebbe essere il controllo della topologia fatto in un modo che avvantaggerà tutte queste applicazioni, o dovrebbe essere adattivo nel supportare il applicazione che richiede risorse in un determinato momento. In entrambe le situazioni, la topologia è trol sarà impegnativo, date le caratteristiche dell'ambiente sottomarino, canale, alto consumo di energia per la trasmissione e topologie di rete altamente dinamiche di UWSN mobili.

Tuttavia, la sfida critica è quando una rete di sensori sottomarini basata su SDN supporta applicazioni in conflitto. Potremmo avere alcune applicazioni che richiedono un'elevata velocità di consegna dei dati (ad es. monitoraggio delle fuoriuscite di petrolio) anche se la durata della rete è ridotta. Allo stesso tempo, SDN-UWSN basato può dimostrare le funzionalità di rete per la raccolta periodica di dati dagli oceani. Questo l'applicazione potrebbe tollerare una perdita di pacchetti se può prolungare la durata della rete. Inoltre, il la posizione dei nodi potrebbe essere critica per l'applicazione (ad esempio, la registrazione della temperatura a differenti profondità). Pertanto, la sfida è determinare come eseguire il controllo della topologia considerando requisiti in conflitto di diverse applicazioni negli UWSN basati su SDN. Nello scenario precedente, il controllo della topologia basato sulla mobilità assistita attraverso la regolazione della profondità di alcuni nodi è impraticabile tical, dati i requisiti della seconda domanda.

## 8 CONCLUSIONE

Il controllo della topologia è fondamentale per migliorare le prestazioni del wireless ad hoc e del sensore

reti. Nelle reti di sensori sottomarini, è anche necessario progettare un monitoraggio efficiente e applicazioni di esplorazione. In questa rete, il controllo della topologia è stato utilizzato per migliorare la rete servizi e protocolli per supportare le applicazioni distribuite.

Questo articolo ha esaminato gli sforzi di ricerca relativi al controllo della topologia nella rete di sensori sottomarini. lavori. Abbiamo classificato gli approcci attuali incontrati in letteratura secondo i principali metodologia utilizzata per apportare consapevolmente modifiche alla topologia di rete. In tal modo, abbiamo discusso i vantaggi, gli svantaggi e le sfide di ciascuno, mettendoli in relazione con le sfide di ambiente sottomarino e canale acustico. Inoltre, per ogni metodologia, abbiamo sottolineato alcune future direzioni di ricerca per affrontare i limiti attuali. Infine, abbiamo discusso, in termini erali, alcuni problemi di ricerca aperti che richiedono ulteriori indagini indipendentemente da le metodologie di controllo della topologia considerate.

## RIFERIMENTI

- Ian F. Akyildiz, Pu Wang e Shih-Chun Lin. 2016. SoftWater: rete definita dal software per la prossima generazione di sistemi di comunicazione dell'acqua. *Reti ad hoc* 46, 1–11.
- Manal Al-Bzoor, Yibo Zhu, Jun Liu, Reda Ammar, Jun-Hong Cui e Sanguthevar Rajasekaran. 2012. Adaptive power con-instradamento trollato per reti di sensori subacquei. Negli *Atti della 7a Conferenza Internazionale sugli Algoritmi Wireless, Sistemi e applicazioni (WASA'12)*. 549–560.
- Prasad Anjani e Mandar Chitre. 2015. Algoritmo di pianificazione con controllo della potenza di trasmissione per subacquei casuali reti acustiche. In *Atti di OCEANS 2015 — Genova*. 1–8.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

## Pagina 33

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:33

- Weigang Bai, Haiyan Wang, Xiaohong Shen e Ruiqin Zhao. 2016. Metodo di programmazione dei collegamenti per acustica subacquea reti di sensori basate su matrice di correlazione. *Giornale dei sensori IEEE* 16, 11, 4015–4022.
- Stefano Basagni, Ladislau Bölöni, Petrika Gjanci, Chiara Petrioli, Cynthia A. Phillips e Damla Turgut. 2014. Massimizzare il valore delle informazioni rilevate nelle reti di sensori wireless subacquei tramite un veicolo subacqueo autonomo. Nel *Atti della conferenza IEEE INFOCOM*. 988–996.
- Elizabeth Basha, Nicholas Yuen, Michael O'Rourke e Carrick Detweiler. 2014. Analisi di algoritmi per multimodale comunicazioni in reti di sensori sottomarini. In *Atti della Conferenza internazionale sulle reti subacquee e sistemi (WUWNET'14)*. 17: 1–17: 8.
- Michael Buettner, Gary V. Yee, Eric Anderson e Richard Han. 2006. X-MAC: un breve preambolo del protocollo MAC per reti di sensori wireless ciclate. Negli *atti della 4a conferenza internazionale sui sistemi di sensori in rete integrati tems (SenSys'06)*. 307–320.
- Antonio Caruso, Francesco Paparella, Luiz FM Vieira, Melike Erol e Mario Gerla. 2008. L'attuale serpeggiante modello di bilità e suo impatto sulle reti di sensori mobili subacquei. In *Atti della Conferenza INFOCOM*. 771–779.
- Paolo Casari e Albert F. Harris. 2007. Trasmissione affidabile ad alta efficienza energetica in reti acustiche subacquee. In *Procedimento del 2 ° Workshop on Underwater Networks (WuWNet'07)*. 49–56.
- Paolo Casari, Milica Stojanovic e Michele Zorzi. 2007. Sfruttare la relazione larghezza di banda-distanza sott'acqua reti acustiche. In *Atti della Conferenza OCEANS*. 1–6.
- Marco Cattani, Andreas Loukas, Marco Zimmerling, Marco Zuniga e Koen Langendoen. 2016. Staffetta: Smart duty-ciclismo per la raccolta di dati opportunistici. In *Atti della 14a Conferenza ACM sul sensore di rete integrato Sistemi (SenSys'16)*. 56–69.
- Erdal Cayirci, Hakan Tezcan, Yasar Dogan e Vedat Coskun. 2006. Reti di sensori wireless per sorveglianza subacquea sistemi. *Reti ad hoc* 4, 4, 431–446.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2017a. Modellazione delle prestazioni e analisi delle metodologie di gestione dei vuoti nelle reti di sensori wireless sottomarini. *Reti di computer* 126, 1–14.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2015a. Un nuovo nodo del vuoto paradigma di recupero per reti di sensori subacquei a lungo termine. *Reti ad hoc* 34, 144–156.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2017b. EnOR: Bilanciamento energetico protocollo di instradamento per reti di sensori subacquei. In *Atti della IEEE International Conference on Communications (ICC'17)*. 3293–3298.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2014a. GEDAR: geografico e protocollo di routing opportunistico con regolazione della profondità per reti di sensori subacquei mobili. In *Atti della IEEE International Conference on Communications (ICC'14)*. 251–256.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2014b. Percorso massimo locale recupero in reti di sensori subacquei: prestazioni e compromessi. In *Proceedings of the IEEE 22nd International Simposio nazionale sulla modellazione, analisi e simulazione di sistemi informatici e di telecomunicazione (MASCOTS'14)*. 112–119.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2015b. Modellazione e analisi di instradamento opportunistico in reti di sensori subacquei a basso duty-cycle. In *Atti del 18 ° ACM International Conferenza sulla modellazione, analisi e simulazione di sistemi wireless e mobili (MSWiM'15)*. 125–132.
- Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2016a. Linee guida di progettazione per instradamento opportunistico nelle reti sottomarine. *Rivista IEEE Communications* 54, 2, 40–48.



Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2016b. Geografico e oppor-  
intradamento tunistico per reti di sensori subacquei. *Transazioni IEEE sui computer* 65, 2, 548–561.

Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2016c. Modellare il sonno  
effetti di intervallo nelle reti di sensori subacquei duty-cycle. In *Atti della IEEE International Conference on Com-  
unicazioni (ICC'16)* . 1997-2002.

Rodolfo WL Coutinho, Azzedine Boukerche, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2016d. Una centralità inedita  
metrica per il controllo della topologia nelle reti di sensori sottomarini. In *Atti della 19a Conferenza Internazionale ACM su  
Modellazione, analisi e simulazione di sistemi wireless e mobili (MSWiM'16)* . 205–212.

Rodolfo WL Coutinho, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2013b. DCR: protocollo di instradamento controllato in profondità  
per reti di sensori subacquei. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'13)* .  
453–458.

Rodolfo WL Coutinho, Luiz FM Vieira e Antonio AF Loureiro. 2013a. Controllo della topologia assistita dal movimento e  
protocollo di instradamento geografico per reti di sensori subacquei. In *Atti della 16a Conferenza Internazionale ACM  
sulla modellazione, analisi e simulazione di sistemi wireless e mobili (MSWiM'13)* . 189–196.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

Pagina 34

19:34

RWL Coutinho et al.

Emrecan Demirors, George Sklivanitis, Tommaso Melodia, Stella N. Batalama e Dimitris A. Pados. 2015. Software-  
reti acustiche subacquee definite: verso un modem riconfigurabile in tempo reale ad alta velocità. *Comunicazioni IEEE  
Rivista* 53, 11, 64–71.

Henry S. Dol, Paolo Casari, Timo van der Zwan e Roald Otnes. 2017. Modem acustici subacquei definiti da software:  
Revisione storica e approccio NILUS. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* PP, 99, 1–16.

Melike Erol, Luiz FM Vieira e Mario Gerla. 2007a. Localizzazione assistita da AUV per reti di sensori subacquei. In *Procedi  
della Conferenza internazionale sugli algoritmi, i sistemi e le applicazioni wireless (WASA'07)* . 44–54.

Melike Erol, Luiz FM Vieira e Mario Gerla. 2007b. Localizzazione con beacon diveN'rise (DNR) per acustica subacquea  
reti di sensori. In *Atti del 2 ° Workshop on Underwater Networks (WuWNet'07)* . 97–100.

Ruolin Fan, Li Wei, Pengyuan Du, Ciarán M. Goldrick e Mario Gerla. 2016. Un MAC subacqueo controllato da SDN e  
banco di prova di instradamento. In *Proceedings of the 2016 IEEE Military Communications Conference (MILCOM'16)* . 1071–1076.

Fatemeh Fazel, Maryam Fazel e Milica Stojanovic. 2011. Rilevamento compresso ad accesso casuale per  
reti di sensori d'acqua. *Giornale IEEE sulle aree selezionate nelle comunicazioni* 29, 8, 1660–1670.

Beatriz Quintino Ferreira, Joao Gomes, Cláudia Soares e Joao P. Costeira. 2016. Localizzazione collaborativa del veicolo  
formazioni basate su gamme e cuscineti. In *Proceedings of the IEEE 3rd Underwater Communications and Networking  
Conferenza (UComms'16)* . 1–5.

Pedro A. Forero, Stephan K. Lapic, Cherry Wakayama e Michele Zorzi. 2014. Algoritmi di implementazione per l'archiviazione dei dati e  
recupero dei dati in base all'energia utilizzando veicoli subacquei autonomi. In *Atti della Conferenza Internazionale su  
Reti e sistemi sottomarini (WUWNET'14)* . 22: 1–22: 8.

Eric Gallimore, Jim Partan, Ian Vaughn, Sandipa Singh, Jon Shusta e Lee Freitag. 2010. WHOI Micromodem-2:  
Un sistema scalabile per comunicazioni acustiche e networking. In *Proceedings of the MTS / IEEE OCEANS — SEATTLE  
Conferenza* . 1–7.

Euhanna Ghadimi, Olaf Landsiedel, Pablo Soldati, Simon Duquennoy e Mikael Johansson. 2014. Routing opportunistico  
in reti di sensori wireless a basso ciclo di lavoro. *Transazioni ACM sulle reti di sensori* 10, 4, 67: 1–67: 39.

Seyed Mohammad Ghoreyschi, Alireza Shahrabi e Tuleen Boutaleb. 2017. Tecniche di gestione dei vuoti per i protocolli di instradamento  
nelle reti di sensori sottomarini: sondaggi e sfide. *Sondaggi e tutorial sulle comunicazioni IEEE* 19, 2, 800–827.

Petrika Gjanci, Chiara Petrioli, Stefano Basagni, Cynthia Phillips, Ladislau Bölöni e Damla Turgut. 2017. Ricerca del percorso  
per il massimo valore delle informazioni nelle reti di sensori wireless subacquei multimodali. *Transazioni IEEE su dispositivi mobili  
Computer* PP, 99, 1.

Frederico Guerra, Paolo Casari e Michele Zorzi. 2009a. Un confronto delle prestazioni dei protocolli MAC per sott'acqua  
reti utilizzando un simulatore di canale realistico. In *Atti della Conferenza OCEANS* . 1–8.

Frederico Guerra, Paolo Casari e Michele Zorzi. 2009b. World ocean simulation system (WOSS): uno strumento di simulazione per  
reti sottomarine con modelli di propagazione realistici. In *Atti del 4 ° Workshop Internazionale ACM su  
UnderWater Networks (WUWNet'09)* . 4: 1–4: 8.

Seongwon Han, Roy Chen, Youngtae Noh e Mario Gerla. 2014. Streaming video in tempo reale da cellulare sott'acqua  
sensori. In *Atti della Conferenza internazionale sulle reti e i sistemi sottomarini (WUWNET'14)* . 21: 1–21: 8.

Albert F. Harris, III, Milica Stojanovic e Michele Zorzi. 2009. Risparmio energetico nei periodi di inattività grazie alle modalità di sveglia in  
reti acustiche derwater. *Reti ad hoc* 7, 4, 770–777.

Lu Hong, Feng Hong, Bozhen Yang e Zhongwen Guo. 2013. ROSS: pianificazione del sonno orientata al ricevitore per  
reti di sensori d'acqua. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Underwater Networks and Systems  
(WUWNet'13)* . 4: 1–4: 8.

Jules Jaffe e Curt Schurgers. 2006. Reti di sensori di esploratori subacquei autonomi alla deriva liberamente. In *Procedimento  
del 1 ° seminario internazionale ACM sulle reti sottomarine (WUWNet'06)* . 93–96.

Josep M. Jornet e Milica Stojanovic. 2008. Controllo distribuito della potenza per reti acustiche subacquee. In *Procedimento  
della conferenza OCEANS* . 1–7.

Fahad A. Khan, Saad A. Khan, Damla Turgut e Ladislau Bölöni. 2014. Avida pianificazione del percorso per massimizzare il valore  
di informazioni nelle reti di sensori subacquei. In *Atti della 39a conferenza annuale IEEE sul computer locale  
Networks Workshops (LCN Workshops'14)* . 610–615.

Fahad A. Khan, Saad A. Khan, Damla Turgut e Ladislau Bölöni. 2015. Programmazione di più lavandini mobili sott'acqua

reti di sensori. In *Proceedings of the IEEE 40th Conference on Local Computer Networks (LCN'15)* . 149–156.

Fahad A. Khan, Saad A. Khan, Damla Turgut e Ladislau Bölöni. 2016. Ottimizzazione dei programmi di resurfacing al massimo mize il valore delle informazioni negli UWSN. In *Atti della IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM'16)* . 1–5.

Sungryul Kim, Seongjin Park e Younghwan Yoo. 2014. Controllo dinamico della potenza di trasmissione basato sull'esatta superficie del mare modellazione del movimento in reti di sensori acustici subacquei. In *Atti della 10a Conferenza Internazionale IEEE su Wireless e Mobile Computing, Networking e Communications (WiMob'14)* . 666–672.

ACM Computing Surveys, vol. 51, n. 1, articolo 19. Data di pubblicazione: gennaio 2018.

UWSN: una nuova sfida per i sistemi basati sul controllo della topologia

19:35

Uichin Lee, Paul Wang, Youngtae Noh, Luiz FM Vieira, Mario Gerla e Jun-Hong Cui. 2010. Instradamento della pressione per reti di sensori dell'acqua. In *Atti della conferenza IEEE INFOCOM* . 1–9.

Mo Li, Zhenjiang Li e Athanasios V. Vasilakos. 2013a. Un'indagine sul controllo della topologia nelle reti di sensori wireless: Taxonomia, studio comparativo e questioni aperte. *Atti della IEEE* 101, 12, 2538–2557.

Shancang Li, Li Da Xu e Xinheng Wang. 2013b. Segnale di rilevamento compresso e acquisizione dati nel sensore wireless reti e Internet of Things. *Transazioni IEEE sull'informatica industriale* 9, 4, 2177–2186.

Xinguo Li, Min Zhu e Yanbo Wu. 2015. Progettazione di sistemi a bassa potenza per modem acustici subacquei. In *Atti della decima conferenza internazionale sulle reti e i sistemi sottomarini (WUWNET'15)* . 38: 1–38: 2.

Zhenjiang Li, Mo Li e Yunhao Liu. 2014. Verso l'equità energetica nelle reti di sensori duty-cycle asincrone. *ACM Transazioni sulle reti di sensori* 10, 3, 38: 1–38: 26.

Jun Liu, Zhaohui Wang, Jun-Hong Cui, Shengli Zhou e Bo Yang. 2016. Una sincronizzazione e una localizzazione dell'ora congiunte progettazione per reti mobili di sensori subacquei. *Transazioni IEEE su Mobile Computing* 15, 3, 530–543.

Hanjiang Luo, Kaishun Wu, Ruksana Ruby, Feng Hong, Zhongwen Guo e Lionel M. Ni. 2017. Simulazione ed esperienza piattaforme di mentazione per reti di sensori acustici subacquei: progressi e sfide. *ACM Computing Surveys* 50, 2, 28: 1–28: 44.

Hina Nasir, Nadeem Javaid, Shaharyar Mahmood, Umar Qasim, Zahoor A. Khan e Firqam Ahmed. 2016. Distribuito protocolli di controllo della topologia per reti di sensori subacquei. In *Atti della 19a Conferenza Internazionale su Sistemi informativi basati sulla rete (NBIS'16)* . 429–436.

Youngtae Noh, Uichin Lee, Paul Wang, Brian SC Choi e Mario Gerla. 2013. VAPR: instradamento della pressione sensibile al vuoto per reti di sensori subacquei. *Transazioni IEEE su Mobile Computing* 12, 5, 895–908.

Michael O'Rourke, Elizabeth Basha e Carrick Detweiler. 2012. Comunicazioni multimodali nella rete di sensori sottomarini funziona utilizzando la regolazione della profondità. In *Atti della 7a Conferenza Internazionale ACM sulle reti subacquee e Sistemi (WUWNET'12)* . 31: 1–31: 5.

C. Petrioli, R. Petrocchia, D. Spaccini, A. Vitaletti, T. Arzilli, D. Lamanna, A. Galizial ed E. Renzi. 2014. The SUNRISE GATE: Accesso alla federazione di strutture SUNRISE per testare soluzioni per Internet of Underwater Things. In *Procedimento delle comunicazioni e reti subacquee (UComms'14)* . 1–4.

Arnau Porto e Milica Stojanovic. 2007. Ottimizzazione del raggio di trasmissione in una rete acustica sottomarina. In *Proceedings della conferenza OCEANS* . 1–5.

Lina Pu, Yu Luo, Haining Mo, Son Le, Zheng Peng, Jun-Hong Cui e Zaihan Jiang. 2015. Confronto tra MAC subacqueo protocolli in esperimenti in mare reale. *Computer Communications* 56, 47–59.

Parastoo Qarabaqi e Milica Stojanovic. 2011. Controllo adattivo della potenza per comunicazioni acustiche subacquee. In *Proceedings of OCEANS 2011 — Spain* . 1–7.

Liangfang Qian, Senlin Zhang, Meiqin Liu e Qunfei Zhang. 2016. Un protocollo MAC per il controllo dell'alimentazione basato su MACA per reti di sensori wireless subacquee. In *Proceedings of the IEEE / OES China Ocean Acoustics (COA'16)* . 1–8.

Ram Ramanathan e Regina Rosales-Hain. 2000. Controllo della topologia delle reti wireless multihop utilizzando la potenza di trasmissione regolazione. In *Atti della conferenza INFOCOM* , vol. 2. 404–413.

Flaviano Di Rienzo, Michele Girolami, Stefano Chessa, Francesco Paparella e Antonio Caruso. 2016. Segnali dal profondità: proprietà delle strategie di percolazione con il dataset Argo. In *Atti del simposio IEEE sui computer e Comunicazione (ISCC'16)* . 372–378.

Miguel Rodríguez-Pérez, Sergio Herreria-Alonso, Manuel Fernández-Veiga e Cándido López-García. 2015. Un auto sintonizzazione del protocollo MAC avviato dal ricevitore per reti di sensori wireless. *Lettere di comunicazione wireless IEEE* 4, 6, 601–604.

Antonio Sanchez, Sara Blanc, Pedro Yuste, Ignacio Piqueras e Juan Jose Serrano. 2011. Un sistema di risveglio a bassa potenza per modem con sensori wireless subacquei. In *Atti del 6 ° Workshop Internazionale ACM sulle Reti Subacquee (WUWNet'11)* . 18: 1–18: 2.

Paolo Santi. 2005. Controllo topologico in reti wireless ad hoc e sensori. *ACM Computing Surveys* 37, 2, 164–194.

Ariona Shashaj, Roberto Petrocchia e Chiara Petrioli. 2014. Routing e pianificazione sensibili alle interferenze energeticamente efficienti in reti di sensori subacquei. In *Proceedings of OCEANS 2014 — St. John's* . 1–8.

Milica Stojanovic. 2006. Sul rapporto tra capacità e distanza in una comunicazione acustica subacquea canale. In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Underwater Networks (WUWNet'06)* . 41–47.

M. Stojanovic e J. Preisig. 2009. Canali di comunicazione acustica subacquea: modelli di propagazione e caratteri statistici aceterizzazione. *IEEE Communications Magazine* 47, 1, 84–89.

Ruoyu Su, Ramachandran Venkatesan e Cheng Li. 2016. Un programma di risveglio asincrono a basso consumo energetico per reti di sensori acustici dell'acqua. *Comunicazioni wireless e Mobile Computing* 16, 9, 1158–1172.

Yishan Su, Yibo Zhu, Haining Mo, Jun-Hong Cui e Zhigang Jin. 2015. Un MAC congiunto per il controllo della potenza e l'adattamento della velocità protocollo per reti di sensori subacquei. *Reti ad hoc* 26, 36–49.



---

**Pagina 36**

19:36

RWL Coutinho et al.

- YanJun Sun, Omer Gurewitz e David B. Johnson. 2008. RI-MAC: MAC con ciclo di lavoro asincrono avviato dal ricevitore protocollo per carichi di traffico dinamici nelle reti di sensori wireless. In *Atti della 6a Conferenza Internazionale ACM sui sistemi di sensori in rete integrati (SenSys'08)* . 1–14.
- Do D. Tan, Tung T. Le e Dong-Seong Kim. 2013. Trasmissione cooperativa distribuita per sensore acustico subacqueo reti. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW'13)* . 205–210.
- Roger Wattenhofer, Li Li, Paravur Bahl e Yi-Min Wang. 2001. Controllo della topologia distribuita per un funzionamento efficiente dal punto di vista energetico in reti multihop wireless ad hoc. In *Atti della conferenza INFOCOM* , vol. 3. 1388–1397.
- WHOI . 2016. RAFOS Float. Estratto il 6 dicembre 2017 da <http://www.who.edu/instruments/viewInstrument.do?id=1061>.
- Jack Wills, Wei Ye e John Heidemann. 2006. Modem acustico a bassa potenza per reti di sensori subacquei densi. Nel *Atti del 1 ° seminario internazionale ACM sulle reti subacquee (WUWNet'06)* . 79–85.
- Junfeng Xu, Keqiu Li, Geyong Min, Kai Lin e Wenyu Qu. 2012. Controllo della potenza multipath basato su alberi ad alta efficienza energetica per reti di sensori subacquei. *Transazioni IEEE su sistemi paralleli e distribuiti* 23, 11, 2107–2116.
- Mohamed Younis, Izzet F. Senturk, Kemal Akkaya, Sookyoung Lee e Fatih Senel. 2014. Tecniche di gestione della topologia per tollerare guasti ai nodi nelle reti di sensori wireless: un'indagine. *Reti di computer* 58, 254–283.
- Rong Zheng e Robin Kravets. 2005. Gestione energetica su richiesta per reti ad hoc. *Reti ad hoc* 3, 1, 51–68.
- Zhong Zhou e Jun-Hong Cui. 2008. Comunicazione multi-percorso efficiente dal punto di vista energetico per applicazioni critiche in reti di sensori derwater. In *Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Informatica (MobiHoc'08)* . 221–230.
- Zhong Zhou, Zheng Peng, Jun-Hong Cui, Zhijie Shi e Amvrossios Bagtzoglou. 2011. Localizzazione scalabile con mobilità previsione per reti di sensori subacquei. *Transazioni IEEE su Mobile Computing* 10, 3, 335–348.
- Yibo Zhu, Zaihan Jiang, Zheng Peng, Michael Zuba, Jun-Hong Cui e Huifang Chen. 2013. Verso il pratico design MAC per reti acustiche subacquee. In *Atti della conferenza IEEE INFOCOM* . 683–691.
- Francesco Zorzi, Milica Stojanovic e Michele Zorzi. 2010. Sugli effetti della densità dei nodi e del duty cycle sull'energia efficienza nelle reti sottomarine. In *Proceedings of the OCEANS 2010 — Sydney* . 1–6.

Ricevuto gennaio 2017; rivisto settembre 2017; accettato nell'ottobre 2017