

Atti del 39th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics, Geilo, Norvegia, 31 gennaio - 3 febbraio 2016

## SensIs - Rete acustica subacquea per il monitoraggio del ghiaccio

Tor Arne Reinen <sup>1</sup>, Arne Lie <sup>1</sup>, Finn Tore Knudsen <sup>2</sup>

<sup>1</sup>SINTEF ICT

<sup>2</sup>Kongsberg Maritime

Contatto email: [Tor.A.Reinen@sintef.no](mailto:Tor.A.Reinen@sintef.no)

### Astratto

Il routing per la comunicazione di rete acustica subacquea a bassa latenza è indagato. L'applicazione sta monitorando le minacce di ghiaccio alle operazioni offshore in l'Artico - per fornire avvisi che consentano agli operatori di reagire a tali minacce. Il lo scenario produce un carico di traffico relativamente elevato e la rete dovrebbe favorire il basso ritardo e affidabilità adeguata piuttosto che minimizzazione del consumo di energia. L'ICRP (Information-Carrying based Routing Protocol), originariamente proposto da Wei Liang et al. [ 1 ] nel 2007, viene scelto come base. ICRP ottiene percorsi di instradamento unicast inviando carico utile di dati come pacchetti di trasmissione quando non sono disponibili informazioni sul percorso. Quindi, i dati può essere fornito senza il costo della latenza di segnalazione reattiva. In questo articolo noi esplorare le capacità di un ICRP leggermente migliorato / adattato, adattato al ghiaccio applicazione di monitoraggio. Da simulazioni ed esperimenti in mare è dimostrato che il protocollo funziona bene e può gestire il carico di traffico elevato delle applicazioni - questo a condizione che i collegamenti punto a punto forniscano velocità di trasmissione e capacità sufficienti headroom.

### 1. Introduzione

Il progetto *SensIs* ha sviluppato una tecnologia per il monitoraggio delle minacce di ghiaccio in mare aperto operazioni nell'Artico. L'obiettivo è fornire avvisi per consentire agli operatori di reagire tali minacce. L'area bersaglio è stata il Mare di Barents settentrionale, dove si trovano le minacce caratteristiche principalmente di ghiaccio marino di grandi dimensioni - banchisa spessa e creste. Il progetto ha sviluppato entrambi nuovi sensori basati su doppler acustico e tecnologia di rete acustica subacquea per comunicare i dati del sensore. Di seguito viene considerato quest'ultimo: Il design e valutazione delle prestazioni di un'adeguata rete acustica sottomarina. L'attenzione è concentrata il protocollo di instradamento di rete - come instradare i dati di output del sensore da un nodo all'altro la rete, a un lavandino comune. Per altri componenti del protocollo scelte abbastanza convenzionali sono stati fatti. Per le connessioni punto a punto sono stati considerati modem esistenti, ma il progetto ha sviluppato trasduttori modem specifici per l'applicazione, il cui impatto anche sulle prestazioni del sistema. Dettagli della progettazione del protocollo, oltre a quelli presentato qui, può essere trovato in [ 2 ]. Il consorzio SensIs comprende Nortek (ice e sensori di corrente), Kongsberg Maritime (comunicazione acustica), SINTEF ICT (ricerca) e Statoil (proprietario del problema).

Ogni sensore è un eco-impulso a ultrasuoni che guarda verso l'alto, ormeggiato sul fondo strumento. Misura lo spessore e il movimento del ghiaccio, insieme al profilo della corrente marina. Lo strumento è connesso a un modem acustico che fornisce la rete wireless capacità. Per monitorare il movimento del ghiaccio in qualsiasi direzione, i sensori del ghiaccio dovrebbero costituire

un cerchio attorno al pozzo di informazioni (il centro di controllo delle operazioni). Una tipica topologia è mostrato nella [Figura 1](#).

Il documento è organizzato come segue: La sezione [2](#) fornisce una panoramica del sistema design, con enfasi sul protocollo di routing. La sezione [3](#) fornisce i risultati della simulazione di rete, mentre la sezione [4](#) fornisce i risultati corrispondenti dalle prove in mare finali SensI. Infine, Le sezioni [5](#) e [6](#) forniscono una discussione e una conclusione del lavoro.

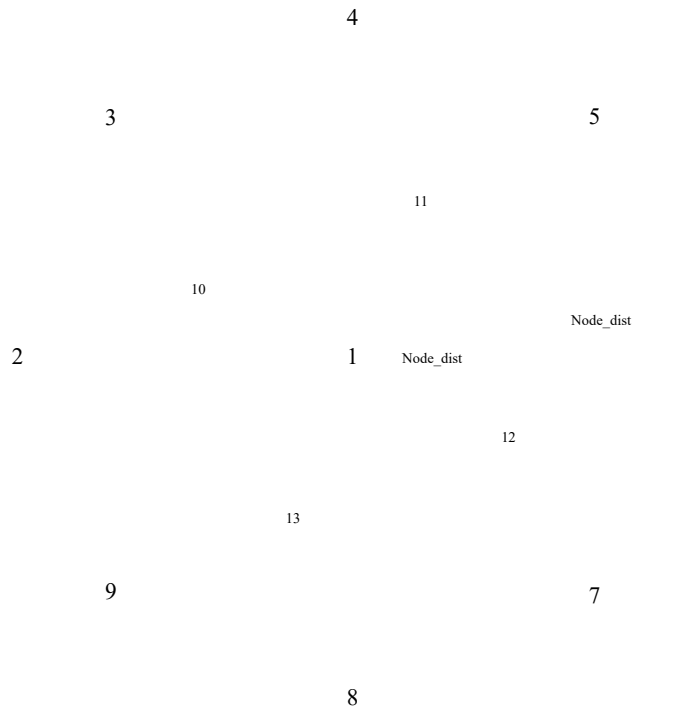


Figura 1 Topologia di rete: il cerchio esterno è rappresentato dai nodi del sensore, i relè di comunicazione del cerchio interno e il centro è il pozzo di informazioni. Le frecce sono esempi di percorsi di comunicazione che potrebbe essere selezionato da un protocollo di routing.

## 2 Progettazione del sistema

**Topologia:** un cerchio esterno comprendente 8 nodi sensore e uno interno con 4 i nodi del relè di comunicazione sono stati selezionati come mostrato nella [Figura 1](#). La distanza del nodo il parametro nella figura è stato impostato a 600 m, in modo che il cerchio del sensore esterno fosse 1200 m dal lavandino. Si stima che le velocità estreme di deriva del ghiaccio nel mare di Barents siano di 4 km / h [\[3\]](#). La distanza di 1200 m corrisponderebbe quindi a un tempo di risposta di 18 minuti.

**Sensori:** sono stati utilizzati i **sensori** Nortek Doppler Signature55 e Signature250.

**Modem:** sono stati utilizzati modem Kongsberg Maritime cNode, ciascuno con un PC incorporato aggiunto per implementare i protocolli di comunicazione. Per punto a punto comunicazione, erano disponibili tre formati di trasporto (TF):

- Direc-Sequence Spread Spectrum (DSSS) con un payload di 200 bit / sec (bps)
- DSSS a 400 bps di carico utile

• Uno schema di equalizzazione del canale (turbo) a 1700 bps.  
La frammentazione dei messaggi lunghi è disponibile per evitare pacchetti di lunga durata a basse velocità.

**Protocolli:** i principali requisiti e sfide sono:

- Elevato carico di traffico. Misurazione del sensore ogni 6 secondi.
- Due modalità operative
  - o Modalità normale: inviare solo ogni 7 messaggi, ovvero intervalli di 42 secondi.
  - o Modalità allarme: invia ogni 3 messaggi, ovvero intervalli di 18 secondi.
- Canale d'acqua variabile nel tempo, come è comune nell'acustica subacquea.
- Tempo marginale per le ritrasmissioni a causa del carico di traffico e delle velocità del modem.
- Tempo marginale per la selezione / ottimizzazione del percorso di instradamento corrispondentemente.

Quindi, il sistema del protocollo dovrebbe

- tollerare la congestione.
- non imporre ritardi di segnalazione reattiva.
- supportare dinamiche di canale veloci.

Per affrontare queste sfide, sono stati scelti i protocolli Medium Access (MAC) e di routing segue:

*Protocollo MAC:* è stato selezionato Carrier Sense Multiple Access (CSMA) Aloha, modificato in rispondere con riconoscimento MAC (ACK) e richiesta di ripetizione automatica (ARQ) solo in formato casi di data unicast (UC).

*Protocollo di instradamento:* è fondamentale per ottenere una comunicazione efficiente ea bassa latenza. Deve essere adattivo a causa delle condizioni del canale variabili nel tempo. L'adattabilità deve, tuttavia, essere ottenuto senza segnalazione reattiva dispendiosa in termini di tempo che mirerebbe a trovare ottimale itinerari. Inoltre, non volevamo che il sistema dipendesse dalla posizione del nodo informazione.

Attraverso la ricerca in letteratura il "protocollo di instradamento basato sul trasporto di informazioni" ICRP [1] si è rivelato promettente e scelto come base per il nostro sistema. È adatto per configurazione source-to-sink e ottiene una bassa latenza con diverse qualità di collegamento.

In breve, l'ICRP funziona come segue: all'inizio non è disponibile alcun percorso preferito, e le informazioni vengono inviate come trasmissione (BC). I nodi che ricevono il pacchetto lo inoltrano una sola volta. Quando il pacchetto raggiunge il sink, viene restituito un ACK a livello di routing. Questo è indicato STATUS e contiene informazioni sul percorso migliore. In base al messaggio STATUS, UC viene utilizzato per le trasmissioni successive, ma il protocollo ritorna a BC se unicast è senza esito.

ICRP è stato adattato / migliorato per la nostra applicazione (vedere [2] per i dettagli). Il principale i miglioramenti sono:

- Limitare il numero di hop per messaggio, al fine di ridurre la quantità di replica di messaggi non necessaria in BC.
- Aggiunta di pazienza in modalità UC: consentire la perdita di alcuni pacchetti (che porta a ritrasmissione) prima di tornare a BC.
- Aggiunta del rapporto segnale-interferenza e rumore (SINR) come parte della metrica del percorso migliore. Queste informazioni sono disponibili dai modem.
- Aggiunta dell'adattamento della velocità di comunicazione del modem alla percentuale di successo dell'UC comunicazione, utilizzando i formati di trasporto sopra menzionati.

Gli ultimi due punti possono essere considerati adattamenti cross-layer.

### 3 Simulazione del protocollo

La messa a punto e l'adattamento del protocollo sono stati effettuati utilizzando DESERT, [4] che è un'estensione a ns-2 / ns-miracle [5] e può essere utilizzato sia per la pura simulazione che con l'hardware nella ciclo continuo. La propagazione del suono è stata simulata in un modo semplicistico disponibile in DESERT, ed è conosciuto nella comunità delle comunicazioni acustiche come il "modello Urlick" o "modello pratico di perdita" [6]. Ciò equivale a una semplice perdita di trasmissione data in dB da  $15 \log_{10}$  della distanza dal ricevitore, più assorbimento dipendente dalla frequenza. Il la deviazione dalla perdita di trasmissione dello spazio libero di  $20 \log_{10}$  di distanza può essere motivata

dal presupposto che il ricevitore sia in grado di sfruttare l'energia multipath. Lo scenario simulato è quello della [Figura 1](#), con 600 m di distanza nodo, come detto nella sezione 2. I parametri di potenza di trasmissione, livello di rumore e modem sono stati combinati in questo modo quel raggio di trasmissione massimo è appena sufficiente affinché i nodi esterni raggiungano il sink in un solo salto. Tuttavia, le configurazioni multi-hop potrebbero essere selezionate dall'ICRP a causa di collisioni di pacchetti. Sono stati utilizzati bitrate e intervalli di pacchetti costanti e il throughput è stato misurato in funzione della lunghezza dell'intervallo di pacchetto per i tre formati di trasporto (TF) del modem. Ricorda dalla sezione [2](#) che le modalità normale e allarme corrispondono a 42 e un intervallo di pacchetto di 18 secondi rispettivamente. Il rapporto di consegna del pacchetto risultante (PDR) è mostrato in percentuale nella [Figura 2](#) per le tre TF. La figura mostra anche la percentuale ICRP Messaggi STATUS. Questi messaggi vengono inviati dal sink in risposta alla trasmissione BC, e quindi indicano che le rotte UC stabili *non* sono stabilite. [La tabella 1](#) mostra i numeri risultati corrispondenti alla [Figura 2](#), per gli stati normale e di allarme.

Tabella 1 PDR in% negli stati normale e di allarme

bit / s	Allarme normale	
TF1: 200	38	10
TF2: 400	80	20
TF3: 1700	98	88

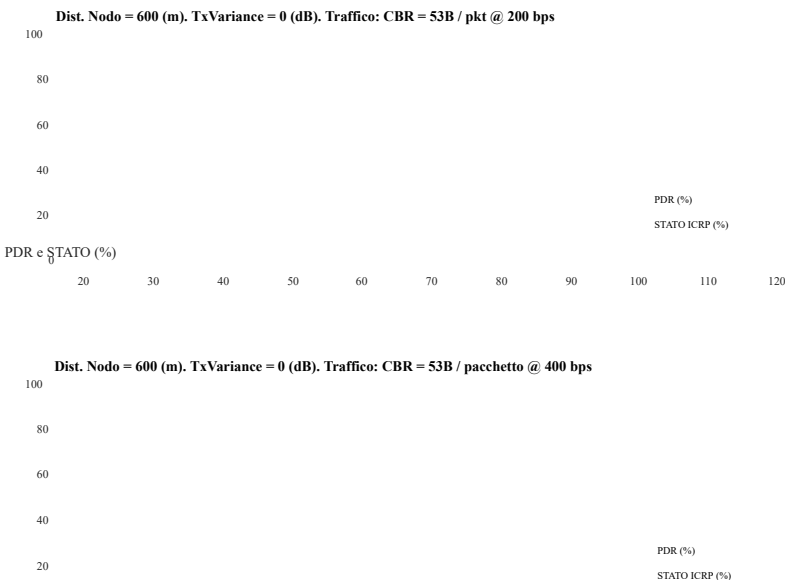
I risultati dimostrano chiaramente che le prestazioni della rete traggono vantaggio dalla possibilità di farlo funzionare a velocità di trasmissione più elevate. In particolare, TF1 è chiaramente inadeguato e anche TF2 non lo è soddisfacente in modalità allarme [1](#). TF3 è ritenuto sufficiente in base alla nostra applicazione scenario.

Sono state effettuate anche simulazioni con due sensori reali nel loop. Questo setup fornisce un input di traffico un po 'meno regolare e richiede tempi di simulazione molto più lunghi. Quest'ultimo, quindi, porta praticamente a risultati con minore confidenza statistica. Ancora il i risultati sono del tutto in linea con quanto sopra, confermando sostanzialmente che solo TF3 dà pienamente prestazioni sufficienti per l'applicazione di destinazione.

se molti messaggi (probabilmente simili) possano essere ignorati o meno in modalità di allarme dipende livello di utilizzo delle informazioni. Ma questo è al di fuori del nostro scopo.

ISBN 978-82-8123-016-3

4



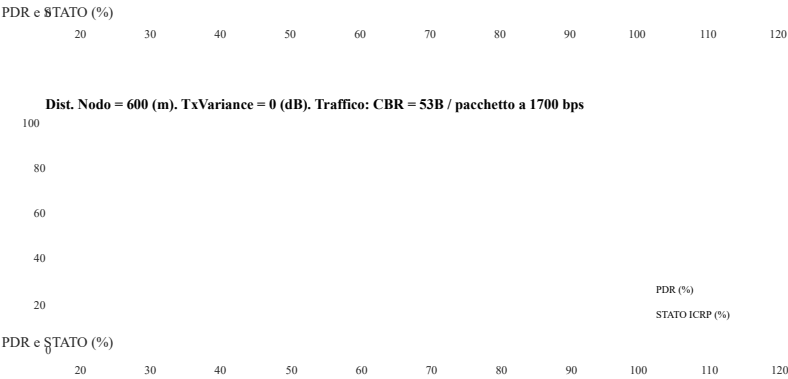


Figura 2 Risultati della simulazione del traffico: % PDR e % STATUS messaggi rispetto alla trasmissione di pacchetti intervallo. Superiore: TF1, 200 bit / s. Al centro: TF2, 400 bit / s. Inferiore: TF3, 1700 bit / s.

4 Prove in mare

Durante il progetto SensIs sono state condotte diverse prove in mare. Qui presentiamo i risultati di quello finale, effettuato nel fiordo di Oslo - zona Horten, 10-12 febbraio 2015. Il sito dell'esperimento ha una profondità del mare di circa 200 m e un fondo approssimativamente piatto. Un totale di 6 i nodi sottomarini distribuiti (denominati N2 – N7 di seguito) e un nodo master (N1) erano Usato. N1 era principalmente a bordo della nave Simrad Echo usando un trasduttore di immersione a 30 profondità m. La configurazione è stata impostata per coprire l'intera rete nella figura 1. La configurazione del primo giorno è mostrata nella figura 2 e N4 erano equipaggiati con un sensore Nortek ciascuno. Si noti che questi nodi erano sopra il mare pavimento. Per integrare i sensori reali, abbiamo avuto la possibilità di avviare il traffico dei sensori simulato da qualsiasi nodo tramite telecomando. N6 è stato utilizzato in questo modo in periodi selezionati.

ISBN 978-82-8123-016-3

5

Atti del 39th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics, Geilo, Norvegia, 31 gennaio - 3 febbraio 2016

Precedenti esperimenti SensIs nella stessa regione avevano dimostrato un pesante multipath, dominato da una riflessione superficiale in arrivo tardivo. Per ridurre questa interferenza, specialmente sono stati sviluppati trasduttori progettati, aventi una direttività orizzontale a forma di ciambella (~3 Larghezza del fascio dB 40°, indice di direttività (DI) 9dB). Questi sono stati usati per i nodi 2, 3 e 7, vedi Figura 3. Il resto dei nodi utilizzava trasduttori omnidirezionali (larghezza del fascio di 180 °, DI 2 dB), eccetto N6 che era dotato di un trasduttore cone beam orientato orizzontalmente (50°) originariamente sviluppato per la comunicazione verticale a lunga distanza.

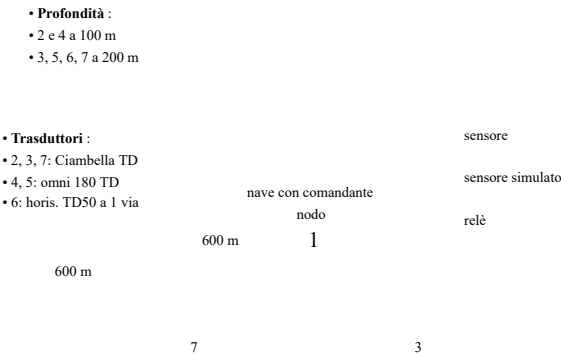


Figura 3 Configurazione di distribuzione 1° giorno, 11 febbraio. Cerchi rossi: trasduttori di direttività ad anello. Le linee tratteggiate indicano i percorsi selezionati dal protocollo di instradamento.

Le condizioni di propagazione del suono sono state valutate misurando CTD e utilizzando il raytracing stimare le risposte all'impulso. I CTD sono stati praticamente costanti durante il periodo di prova. Il i risultati sono mostrati nella [Figura 4](#) sotto forma di raggi automatici e SINR stimata rispetto all'intervallo. Il raytracing è stato eseguito da PlaneRay [ 7 ], leggermente modificato aggiungendo il ricevitore di direttività e uso [ 8 ] per rimbalzi di superficie e [9] per rimbalzi di fondo. La superficie Il modello di rimbalzo impone una perdita di energia quasi nulla sulla superficie del mare, per il trasduttore largo travi e mare calmo. Si noti che i rimbalzi della superficie devono essere interpretati principalmente come dispersione piuttosto che riflessi speculari. I componenti multipath dominanti (principalmente in superficie) arrivano sempre troppo tardi per consentire qualsiasi guadagno di elaborazione nel modem. L'interferenza, pertanto, è uguale per tutti i formati di trasporto. Inoltre, il rumore ambientale è interamente trascurabile rispetto all'interferenza.

Gli esperimenti principali sono stati condotti l'11 febbraio (giorno 1), dalla notte al 12 febbraio (Overnight) e il 12 febbraio (giorno 2). Le configurazioni erano le seguenti:

- Giorno 1: [figura 3](#).
- Test notturno: parte superiore della [figura 5](#). Il vaso di superficie con il suo nodo di pozzo era assente, e N7 è stato riconfigurato per essere sink, rinominandolo anche N1.

ISBN 978-82-8123-016-3

6

## Pagina 7

Atti del 39th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics, Geilo, Norvegia, 31 gennaio - 3 febbraio 2016

- Giorno 2: parte inferiore della [figura 5](#). La nave era nuovamente presente come N1, con il originale N7 ripristinato al nome e alla funzione Day 1. Inoltre, l'originale N3 è stato sostituito da un nuovo hardware, N5 con trasduttore a ciambella, per essere sicuri che le sue basse prestazioni non erano dovute a errori hardware o software. L'originale N3 è stato quindi dotato di un omni-trasduttore e utilizzato come secondo relè, vicino al nodo sorgente N4.

Si noti che i percorsi principali scelti dal protocollo sono mostrati come linee tratteggiate nella [Figura 3](#) e la [figura 5](#).

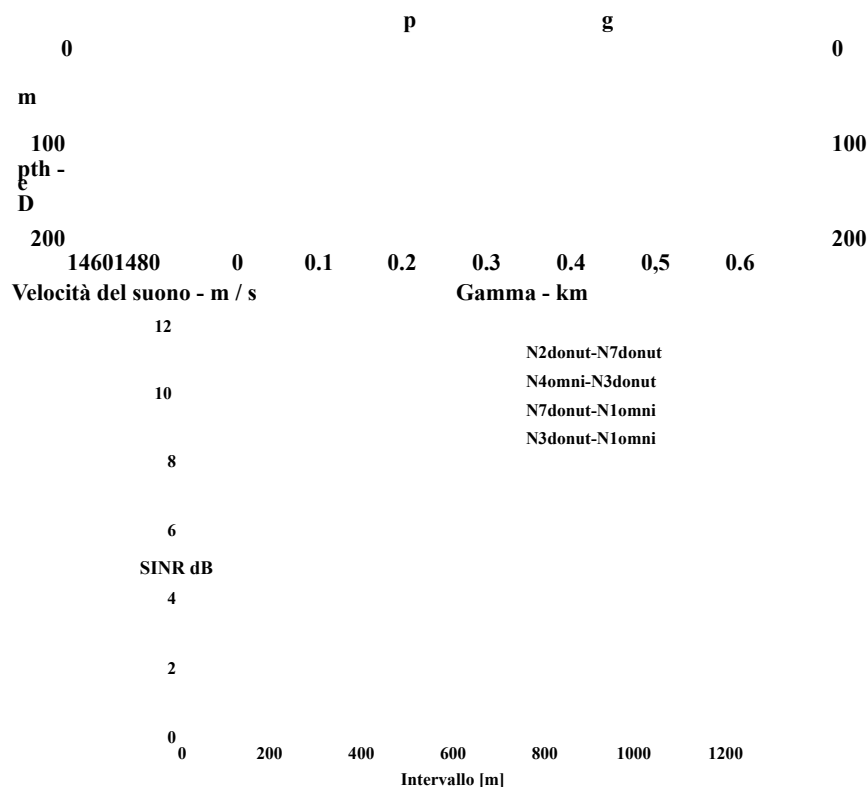


Figura 4 Condizioni di propagazione del suono durante gli esperimenti. Superiore: profilo di velocità del suono

ISBN 978-82-8123-016-3

7

Pagina 8

Atti del 39th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics, Geilo, Norvegia, 31 gennaio - 3 febbraio 2016

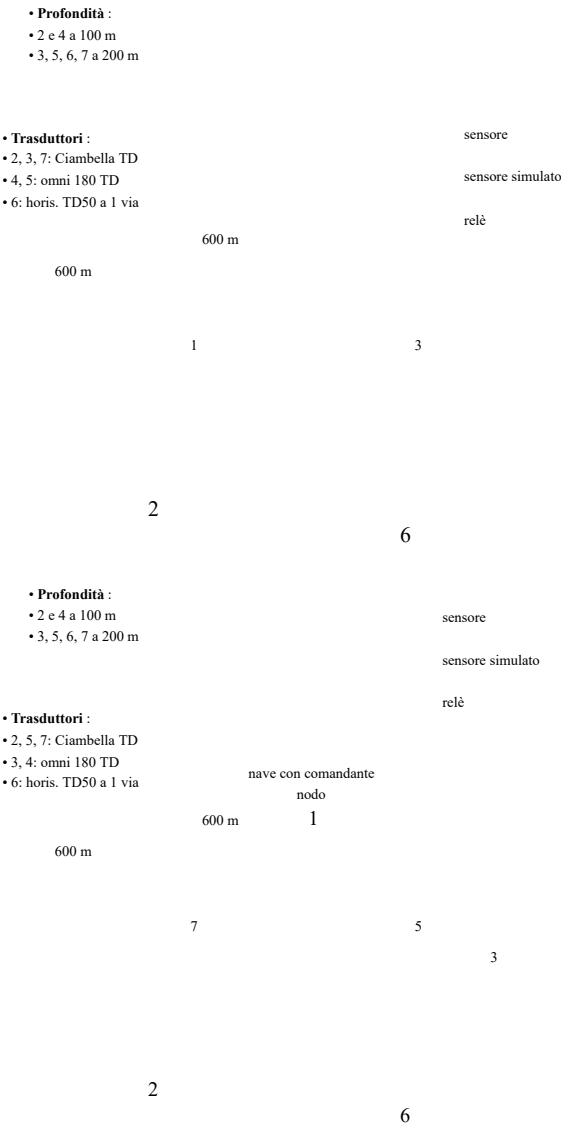


Figura 5 Configurazioni di distribuzione e nomi dei nodi per il test notturno (superiore) e il giorno 2 (inferiore). Le linee tratteggiate indicano i percorsi selezionati dal protocollo di instradamento.

I rapporti di consegna dei pacchetti risultanti per i test sono mostrati nella [Tabella 2](#). Generalmente il relè- il percorso N2-N7 ha avuto successo, fornendo PDR elevati. Ispezione dei formati di trasporto del modem ha anche rivelato che TF3 è stato utilizzato la maggior parte del tempo per il salto N2-N7 e allo stesso modo TF2 è stato scelto per il salto finale in N1. La trasmissione da N4 era, d'altra parte,

instabile, scegliendo TF1 la maggior parte del tempo e dando con PDR bassi. La differenza principale tra i due percorsi sorgente è l'uso di trasduttori direttivi lungo il percorso N2.

## Pagina 9

Atti del 39th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics, Geilo, Norvegia, 31 gennaio - 3 febbraio 2016

Tabella 2 Risultati del test PDR in%

	Giorno 1 Pernottamento		Giorno 2
N2	75.1	95.3	46.7
N4	22.5	2.1	9.9

La modalità di allarme è stata abilitata automaticamente sui due nodi sensori in periodi di 15 minuti, una volta ogni ora intera. A causa del traffico più fluido in questa modalità, la rete le prestazioni non sono cambiate molto dalla modalità normale. Risultati della simulazione per il cerchio completo il setup lo conferma, a condizione che solo due nodi sensori alla volta siano in modalità allarme. Se la modalità di allarme è attivata su tutti gli 8 nodi del sensore, supportata solo da una rete abilitata TF3 la capacità necessaria per evitare un drastico calo delle prestazioni.

## 5 Discussione

L'utilizzo di trasduttori di direttiva per ridurre l'impatto del multipath era essenziale ottenendo buone prestazioni nelle prove in mare. Dal punto di vista del protocollo questo si traduce in un requisito per avere una capacità di comunicazione punto a punto sufficiente per servire il traffico in ingresso. Nei risultati delle prove in mare, vediamo una chiara correlazione tra la capacità di utilizzo TF2 e TF3 e la capacità di ottenere periodi di modalità UC stabili. Anche se TF1 produce prestazioni di collegamento affidabili, la sua durata tipica del pacchetto di 2,1 secondi è semplicemente troppo evitare gravi interferenze di rete a causa di un canale d'acqua molto trafficato. Come accennato in sezione 4, TF3 è l'unico che sarebbe in grado di servire allarmi simultanei in modo completo anello di nodi.

I risultati hanno anche mostrato che l'ICRP necessita di capacità sufficiente per eseguire la rete scoperta e ricerca di nuovi percorsi attraverso il suo utilizzo del broadcasting. La possibilità di eseguire TF2 e Le modalità TF3 erano chiaramente superiori in questo senso rispetto a TF1.

Un altro modo per alleviare i requisiti di capacità è soffocare l'inoltro funzionalità dei pacchetti BC in determinati nodi. Ciò sarebbe ragionevole per il sensore nodi nella nostra situazione, poiché questi formano un cerchio esterno e fondamentalmente la comunicazione dovrebbe fluire verso il centro. Le simulazioni a TF1, non dettagliate nella sezione 3, lo hanno dimostrato questo migliorerebbe le prestazioni ma non sufficientemente da ottenere un risultato soddisfacente prestazione.

Siamo consapevoli che il protocollo MAC selezionato (CSMA Aloha) non è stato un scelta ottimale dal punto di vista delle prestazioni a causa dell'elevato carico di traffico imposto dallo scenario SensI, e che alcuni dei problemi di prestazioni in condizioni di carico elevato possono essere colorati dal nostro MAC selezione del protocollo. Il rendimento di CSMA Aloha diminuisce quando lo si spinge verso il suo limiti di capacità. I punti di forza di CSMA Aloha sono flessibilità e adattabilità. Ulteriori lavori esaminando l'ICRP in aggiunta a protocolli MAC alternativi, ad esempio, come il rilevamento della distanza DACAP, potrebbe smascherare se alcuni dei nostri risultati dipendono dal mezzo selezionato protocollo di accesso.

## 6. Conclusioni

Il progetto SensIs ha dimostrato che l'ICRP fornisce le funzionalità necessarie e prestazioni per costruire una rete acustica sottomarina con un gran numero di traffico-nodi del sensore aggressivi. Le prestazioni dell'ICRP sono state studiate in entrambe le simulazioni e schieramenti reali in mare. Fornisce la consegna tempestiva dei messaggi dei sensori anche in formato periodi congestionati, a scapito di un traffico leggermente maggiore a causa della più frequente



periodi di trasmissione. Tutto ciò ha fornito una sufficiente comunicazione punto a punto la capacità è disponibile.

Fornendo alcune nuove funzionalità rispetto alla pubblicazione originale dell'ICRP, il protocollo potrebbe eseguire periodi più lunghi in modalità unicast e il volume del traffico potrebbe essere inondato rilassato.

Utilizzando trasduttori moderatamente direttivi, maggiore affidabilità punto-punto e Sono stati ottenuti bitrate, portando a rapporti di consegna dei pacchetti e percorso di instradamento migliorati selezioni. Questa misura è stata ritenuta necessaria per ottenere prestazioni sufficienti per il ghiaccio applicazione di monitoraggio.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Norwegian Research Council per il sostegno finanziario. Vorremmo anche ringraziare l'Università di Padova per aver fornito il framework DESERT come software aperto per la comunità di ricerca sulla comunicazione subacquea.

## Riferimenti

- [1] W. Liang, H. Yu, L. Liu, B. Li e C. Che, "Instradamento basato sul trasporto di informazioni protocollo per la rete di sensori acustici subacquei, "in *Meccatronica e Automazione. ICMA 2007.* , 2007, pagg. 729–734.
- [2] A. Lie, O. Trandem, FT Knudsen, TA Reinen e M. Alvsåker, "Sull'uso di Protocollo di instradamento basato sul trasporto di informazioni in implementazioni UWSN reali con elevata carico di traffico ", in *IEEE Oceans 2015* , Genova, 2015.
- [3] K. Eik e S. Løset, "Specifiche per un sistema di intelligenza del ghiaccio sotterraneo", in *Conferenza internazionale sull'ingegneria oceanica, offshore e artica - OMAE* , 2009.
- [4] R. Masiero, S. Azad, F. Favaro, M. Petrani, G. Toso, F. Guerra, Casari e M. Zorzi, "DESERT Underwater: An NS-Miracle-based framework to design, simulare, emulare e realizzare banchi di prova per i protocolli di rete sottomarina ", in *IEEE OCEANS* , Yeosu, 2012.
- [5] N. Baldo, M. Miozzo, F. Guerra, M. Rossi e M. Zorzi, "Miracle: The multi-estensione dell'interfaccia cross-layer di ns2, " *EURASIP J. Wireless Comm. and Networking*, vol. 2010, 2010.
- [6] M. Stojanovic, "Sul rapporto tra capacità e distanza in un canale di comunicazione acustica subacqueo, " *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 11, pagg. 34-43, 2007.
- [7] JM Hovem, "PlaneRay: Un modello di propagazione subacquea acustica basato su ray tracing e coefficienti di riflessione delle onde piane, "in *Teorico e Acustica computazionale* , Università di Creta, Grecia, 2007.
- [8] PH Dahl, "The Sea Surface Bounce Channel: Bubble-Mediated Energy Loss and Time / Angle Spreading, " *AIP Conference Proceedings*, vol. 728, pp. 194-203, 2004.
- [9] APL, "APL-UW modelli acustici ambientali oceanici ad alta frequenza manuale, "Univ Washington, Applied Phys Lab APL-UW TR 9497 APL-UW TR 9407, 1994.