

Proceedings e report

52

Giornata di Studio per Giovani
Ricercatori su Innovazione
Tecnico Scientifica in Italia
nei Settori dell'Energia Elettrica
e ICT

a cura di
ROMANO FANTACCI

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

2009

Giornata di Studio per Giovani Ricercatori su
Innovazione Tecnico Scientifica in Italia nei Settori
dell'Energia Elettrica e ICT / a cura di Romano
Fantacci. – Firenze : Firenze University Press, 2009.
(Proceedings e report ; 52)

<http://digital.casalini.it/9788864530918>

ISBN 978-88-6453-098-7 (print)

ISBN 978-88-6453-091-8 (online)



Volume pubblicato con il contributo erogato dall'Ente Cassa di Risparmio di Firenze a supporto delle celebrazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci



Comitato nazionale per le manifestazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci del Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Direzione Generale per i Beni Librari e gli Istituti Culturali

Progetto grafico di Alberto Pizarro Fernández

Immagine di copertina:

© Yurok | Dreamstime.com

© 2009 Firenze University Press

Università degli Studi di Firenze
Firenze University Press
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy
<http://www.fupress.com/>

Printed in Italy

SOMMARIO

PREFAZIONE <i>Franco Angotti</i>	VII
INTRODUZIONE <i>Romano Fantacci</i>	1
PARTE I - INTERVENTI AD INVITO SUL PASSATO, PRESENTE E FUTURO DELLE TELECOMUNICAZIONI	
ANTONIO MEUCCI, GIOVANNI CASELLI, GUGLIELMO MARCONI A FIRENZE <i>Leonardo Lucci, Giuseppe Pelosi</i>	7
LE COMUNICAZIONI ELETTRICHE DALL'OTTOCENTO AD OGGI <i>Leonardo Calandrino</i>	19
COGNITIVE NETWORKING: NUOVE PROSPETTIVE PER LE COMUNICAZIONI AVIONICHE <i>Romano Fantacci, Andrea Tani</i>	25
PARTE II - INTERVENTI SELEZIONATI SU BASE OPEN CALL	
SISTEMA DI DIAGNOSI E CORREZIONE DI ERRORI PER DISPOSITIVI AVIONICI IN PRESENZA DI SINGLE EVENT UPSET (SEU) <i>Lorenzo Ciani</i>	31
CARATTERIZZAZIONE DELL'INTERFERENZA: UNA STRATEGIA DI ASCOLTO DELL'AMBIENTE RADIO PER RETI WIRELESS COGNITIVE A BANDA ULTRA LARGA <i>Daniele Domenicali</i>	35

STRUMENTI DI SIMULAZIONE PER IMPIANTI IGCC CON CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO ₂ <i>Silvia Canevese</i>	39
ANALISI ELETTROMAGNETICA ED OTTIMIZZAZIONE DI HORN QUADRATI MULTIMODALI PER UTILIZZO IN LENTI DISCRETE <i>Elson Agastra</i>	45
MONITORAGGIO DEI BENI CULTURALI CON LE TECNOLOGIE DELLE WIRELESS SENSOR NETWORK <i>Luca Bencini</i>	51
SIMULTANEE DI TEMPERATURA E DEFORMAZIONE <i>Gabriele Bolognini</i>	55
STUDIO DEGLI ASPETTI PROPAGATIVI SULLA SUPERFICIE DI MARTE PER APPLICAZIONI SENSORISTICHE BASATE SULLO STANDARD IEEE802.15.4 (ZIGBEE) <i>Renato Pucci</i>	59
APPLICAZIONE DI TECNICHE ACUSTICHE DI INVERSIONE TEMPORALE E DI DOA NELLE COMUNICAZIONI UWB <i>Luca De Nardis</i>	65
SISTEMI CRITTOGRAFICI POST-QUANTICI PER LA SICUREZZA DELLE TELECOMUNICAZIONI <i>Marco Baldi</i>	69
NOTIZIE SUGLI AUTORI	73

PREFAZIONE

Franco Angotti

Presidente del Comitato Nazionale

Siamo grati all'AICT, Associazione per la Tecnologia dell'Informazione e delle Comunicazioni, e all'AEE, Associazione Energia Elettrica di avere aderito all'invito del Comitato Nazionale per le manifestazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci, riconosciuto dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali, di organizzare una giornata dedicata all'*Innovazione Tecnico Scientifica in Italia nei Settori dell'Energia Elettrica e ICT*, scegliendo come sede la Facoltà di Ingegneria di Firenze.

Antonio Meucci, nato a Firenze il 13 Aprile 1808, ha avuto una vita piuttosto sfortunata, ma vissuta con grande passione e tenacia. Soltanto dopo oltre un secolo dalla sua morte, avvenuta a New York il 18 ottobre 1889, ha avuto il pieno riconoscimento della paternità dell'invenzione del telefono. Egli, in qualche misura, è espressione di creatività e scienza fiorentine, cioè di quell'atmosfera di grande fermento politico, tecnico e scientifico che ha caratterizzato la Firenze della prima metà dell'Ottocento e che si è conclusa con la cacciata dei Lorena dalla città.

Le manifestazioni, volute dalla relativamente giovane Facoltà di Ingegneria di Firenze, fondata nel 1970, hanno avuto come obiettivo, oltre ovviamente la valorizzazione della figura e dell'opera di Antonio Meucci, sul quale vi è una discreta letteratura, soprattutto quella di promuovere iniziative volte a favorire la conoscenza del periodo storico in cui Antonio Meucci ha vissuto, con particolare riferimento al periodo trascorso nella Firenze di primo ottocento, cioè dal 1808 al 1835.

Il Comitato ha altresì cercato, con convegni ed altre iniziative, di favorire la diffusione della cultura tecnico-scientifica, specie nel campo dell'ITC, tra gli studenti delle scuole medie superiori con l'evidente scopo di orientare le loro scelte universitarie.

Altre iniziative hanno riguardato il futuro delle telecomunicazioni sia dal punto di vista dell'innovazione tecnologica, sia da quello legato agli aspetti giuridici, normativi, economici e sociali di questo settore importante ed in continuo sviluppo. Non poteva naturalmente mancare, a

Firenze, sede dell'Accademia della Crusca, un approfondimento dell'influenza del telefono sull'evoluzione del linguaggio.

La manifestazione, i cui atti sono raccolti nel presente volume, risponde in pieno, come è evidente da queste poche righe, agli obiettivi del Comitato e di ciò ringraziamo gli organizzatori e gli autori dei contributi.



Franco Angotti

INTRODUZIONE

Romano Fantacci

In questo volume sono raccolti i contributi scientifici inclusi nel programma della Giornata di Studio dedicata alla presentazione di memorie originali proposte da giovani ricercatori aventi per tema l'innovazione tecnico scientifica in Italia nei settori dell'Energia Elettrica e dell'ICT organizzata a Firenze presso la Facoltà di ingegneria da AICT, Associazione per la Tecnologia dell'Informazione e delle Comunicazioni, e AEE, Associazione Energia Elettrica, della Federazione AEIT, nell'ambito delle manifestazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci.

La raccolta inizia con il primo dei contributi ad invito curato dal Prof. Giuseppe Pelosi (Università di Firenze) avente come titolo *A. Meucci, G. Caselli, G. Marconi a Firenze* e dedicato a descrivere episodi inediti della vita dei tre famosi personaggi durante la loro permanenza a Firenze. Da sottolineare la dettagliata e curiosa descrizione della scoperta fatta da Caselli a Firenze del primo rudimentale sistema fax.

A seguire viene presentato il contributo *Le Comunicazioni Elettriche dall'Ottocento ad oggi* del Prof. Leonardo Calandrino (Università di Bologna) con il quale viene proposta una rassegna meditata delle principali tappe tecnologiche legate all'evoluzione delle Comunicazioni partendo dai primi pionieristici tentativi di trasmissione a distanza dell'informazione fino ad arrivare a descrivere le più moderne tecniche di elaborazione e trasmissione dell'informazione. In particolare questo contributo mette in evidenza e giustifica in maniera chiara il concetto che le comunicazioni, per la loro natura, sono nate digitali e che solo successivamente alla scoperta del canale elettromagnetico sono diventate elettriche.

Infine il contributo dal titolo *Cognitive Networking: nuove prospettive per le comunicazioni avioniche* con autori Prof. R. Fantacci e l'Ing. A. Tani (Università di Firenze) conclude la sezione dedicata ai lavori ad invito. Questo lavoro propone inizialmente al lettore una rassegna sintetica ma completa delle tecniche di Cognitive Networking e Spectrum Sensing per poi passare alla presentazione di un metodo efficiente per la condivisione cognitiva di risorse trasmissive da dedicare esplicitamente a data link di nuova generazione nell'ambito di sistemi per il controllo del traffico aereo di nuova generazione.

La sezione successiva composta complessivamente da otto lavori è completamente dedicata ai contributi presentati dai giovani ricercatori selezionati sulla base di una open call.

Aprire la sezione il contributo dal titolo *Sistema di diagnosi e correzione di errori per dispositivi avionici in presenza di Single Event Upset (SEU)* che ha come autore L. Ciani. Questo lavoro mette in evidenza come nel settore aeronautico la componentistica elettronica sia sottoposta a stress di vario genere, come radiazioni dovute a ioni carichi e raggi gamma e condizioni critiche di temperatura e di stress meccanici. Viene infine sottolineato il fatto che, nel caso specifico di effetti indotti da radiazioni, ad oggi, non esista un approccio standard. Il contributo viene concluso con la presentazione di una soluzione originale basata su un'analisi approfondita della radiazione cosmica e degli effetti da essa prodotti sui dispositivi elettronici.

Il contributo *Caratterizzazione dell'interferenza: una strategia di ascolto dell'ambiente radio per reti wireless cognitive a banda ultra larga* di D. Domenicali mette in evidenza come il mondo delle comunicazioni wireless si presenti oggi molto più complesso e differenziato di quanto non fosse solo pochi anni fa e come in un tale contesto sia utile il concetto di radio cognitiva (*cognitive radio*). Nel contributo viene quindi presentata una procedura di *sensing* volta a determinare la reale distribuzione dell'interferenza multiutente presente nella rete al fine di ottenere un miglioramento prestazionale in reti basate su tecnologia Ultra Wide Band (UWB).

Successivamente il contributo dal titolo *Strumenti di simulazione per impianti IGCC con cattura e sequestro della CO₂* di S. Canevese mette in evidenza come la crescente domanda di energia elettrica, il decremento delle fonti primarie e l'aumento dei livelli di inquinamento spingono a ricercare non solo possibili nuovi vettori e fonti, ma anche modalità più efficienti e meno inquinanti di sfruttamento delle risorse già in uso. Il contributo presenta poi i risultati di ricerca ottenuti nell'ambito di *clean coal technologies* sulla base delle quali è stato progettato presso il suo centro di afferenza (Cesi Ricerca) un impianto pilota, da circa 70 MWe, di tipo IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*), per la co-produzione di energia elettrica e idrogeno, con cattura e sequestro della CO₂.

Nel contributo con titolo *Analisi elettromagnetica ed ottimizzazione di horn quadrati multimodali per utilizzo in lenti discrete* di E. Agastra viene messo in evidenza come in molte applicazioni nel settore spaziale si richiedono sistemi radianti a massima efficienza di apertura al fine di ridurre le dimensioni fisiche e migliorarne l'efficienza energetica. Vengono infine illustrati i vantaggi derivanti dall'impiego di una soluzione avanzata basata su lenti discrete che è stato oggetto dell'attività di ricerca dell'autore.

In *Progettazione e realizzazione di un sistema di monitoraggio per i beni culturali basato sulle tecnologie delle Wireless Sensor Network* di L. Bencini viene sottolineato come le notevoli capacità di integrazione dei componenti

raggiunte dall'industria elettronica ed i vantaggi introdotti dalla tecnologia wireless abbiano dato vita in tempi recenti a sistemi di rilevazione e di misura distribuiti, noti con il nome di reti wireless di sensori (Wireless Sensor Network). Nel contributo viene poi proposta una soluzione innovativa che presenta notevoli vantaggi in termini di facilità di gestione, efficienza del protocollo di accesso e semplicità di installazione.

Il contributo successivo dal titolo *Sensori distribuiti in fibra ottica per misure di temperatura e deformazione con codifica di impulso e rivelazione coerente* di G. Bolognini è invece dedicato alla discussione di sensori distribuiti in tecnologia ottica. Il contributo presenta in particolare i risultati relativi ad una attività di sviluppo e sperimentazione di questa tecnologia in corso presso i laboratori della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.

A seguire in *Studio degli aspetti propagativi sulla superficie di Marte per applicazioni sensoristiche basate sullo standard IEEE802.15.4 (ZigBee)* di R. Pucci viene presentata e discussa la possibilità di utilizzare reti di sensori in scenari e condizioni ambientali limite come quelle ipotizzate essere possibili su Marte. Il contributo mette in evidenza in particolare la possibilità di mutuare in un tale contesto tecnologie e metodi già sviluppati per altre applicazioni.

Il contributo *Applicazioni di tecniche acustiche di inversione temporale e di DOA nelle comunicazioni UWB* di L. De Nardis presenta un sistema innovativo per la localizzazione di persone disperse durante operazioni di ricerca e soccorso attraverso l'utilizzo di segnali UWB di tipo impulsivo combinati con tecniche innovative per l'elaborazione del segnale basate sul concetto di Inversione Temporale (Time Reversal). In particolare viene qui presentata un'analisi delle soluzioni esistenti per la ricerca di dispersi in ambito alpino e discusse le proprietà chiave delle tecniche UWB e della metodologia Time Reversal per le quali nel contributo si propone un utilizzo combinato.

Infine il contributo dal titolo *Sistemi crittografici post-quantici per la sicurezza delle telecomunicazioni* di M. Baldi conclude la sessione dedicata ai contributi selezionati di giovani ricercatori. Questo contributo mette in evidenza come uno dei principali requisiti di molti servizi di telecomunicazioni consista nella capacità di garantire un adeguato livello di sicurezza delle informazioni scambiate tra gli utenti. Dopo una rassegna dei principali metodi ad oggi noti, nel contributo viene messo in evidenza il fatto che il panorama attuale nel campo della sicurezza dell'informazioni potrebbe essere alterato dall'introduzione del computer quantico, macchina, a tutt'oggi comunque non è disponibile, capace di usare fenomeni della fisica quantistica per rappresentare l'informazione. Nel contributo vengono inoltre descritte le principali caratteristiche di metodologie avanzate (post-quantiche) per crittografia asimmetrica e presentato un interessante confronto di prestazioni con quelle dei sistemi tradizionali più diffusi.

A conclusione di questa breve introduzione desidero ringraziare AICT, AEE ed al Comitato Meucci per aver promosso e sostenuto questa iniziativa e tutti coloro che con i loro contributo ne hanno permesso la realizzazione. Un ringraziamento speciale va poi alla Dott.ssa Giada Mennuti per il prezioso e sapiente lavoro nel curare l'organizzazione dell'intera manifestazione e la pubblicazione di questo volume.



Romano Fantacci

PARTE I

INTERVENTI AD INVITO
SUL PASSATO, PRESENTE E FUTURO DELLE TELECOMUNICAZIONI

ANTONIO MEUCCI, GIOVANNI CASELLI, GUGLIELMO MARCONI A FIRENZE

Leonardo Lucci, Giuseppe Pelosi

Il principale legame che unisce Antonio Meucci, Giovanni Caselli e Guglielmo Marconi è indubbiamente costituito dai contributi tecnico-scientifici che essi sono riusciti a dare allo sviluppo delle telecomunicazioni, contribuendo in modo determinante alla nascita delle moderne comunicazioni elettriche.

Antonio Meucci (Firenze 1808 – New York 1889), è infatti riuscito per la prima volta a trasmettere a distanza la voce, mediante un microfono e un altoparlante, per la conversione della voce in segnale elettrico e viceversa, e una linea di trasmissione per il collegamento elettrico a distanza, realizzando un prototipo perfettamente funzionante di telefono. Giovanni Caselli (Siena 1815 – Firenze 1891) – perfezionando un'idea su cui anche altri stavano lavorando – realizzò il «pantelegrafo», progenitore del moderno telefax, in grado di trasmettere attraverso una linea telegrafica una copia fedele di un qualsiasi documento. Infine Guglielmo Marconi (Bologna 1874 – Roma 1937), all'inizio del secolo scorso, riuscì per la prima volta a trasmettere un segnale a distanza mediante l'impiego delle onde elettromagnetiche, senza l'ausilio di alcun supporto fisico, ed è universalmente riconosciuto come il «padre della radio».

Figura 1. Carta telefonica della serie «Les grandes figures des telecommunications» – emessa da France Telecom nel dicembre 1993 – di cui fa parte ovviamente, tra le altre, la scheda dedicata a Guglielmo Marconi.



Ma il legame tra Antonio Meucci, Giovanni Caselli e Guglielmo Marconi passa anche attraverso l'impegno di quest'ultimo, nel decennio, che va dal 1927 al 1937, durante il quale fu presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), per la valorizzazione dei contributi italiani allo sviluppo delle telecomunicazioni. Ne è un esempio la pubblicazione del CNR del 1930 a cura di Luigi Respighi, *Sulla priorità di Antonio Meucci nell'invenzione del telefono*, che rappresenta in pratica la prima autorevole rivendicazione della figura di Antonio Meucci rispetto a quella di Alexander Graham Bell [1]. Inoltre per l'esposizione internazionale «Un secolo di Progresso», tenutasi a Chicago (Illinois, USA) nel marzo 1933 [2], Guglielmo Marconi fece costruire dalle Officine Galileo di Firenze due modelli di telefono realizzati da Antonio Meucci rispettivamente nel 1857 e nel 1867, ed una copia del «pantelegrafo» di Giovanni Caselli, oggi conservata presso il Museo della Scienza di Milano.

Figura 2. Uno dei modelli di telefono realizzati da Antonio Meucci fatti ricostruire da Guglielmo Marconi per l'esposizione internazionale «Un secolo di progresso» di Chicago del 1933 (Museo della Tecnica Elettrica, Università di Pavia).



Ma c'è anche un legame più sottile e forse meno noto tra Antonio Meucci, Giovanni Caselli e Guglielmo Marconi, costituito dall'intreccio tra le loro vite e la città di Firenze. Di questo si tratterà brevemente nel seguito del presente lavoro.

1. *L'inventore del telefono: il periodo fiorentino di Antonio Meucci (13 aprile 1808-1835)* [3]

Antonio Meucci nacque proprio a Firenze, primogenito di Amatis e di Maria Domenica Pepi, il 13 aprile 1808 «forse in Via S. Chiara, n.

128, nel popolo di S. Frediano, cura di Cestello», scrive nelle sue note il fratello Giuseppe [4]. Successive accurate ricerche hanno individuato con certezza – come casa natale di Meucci – via Chiara 475 (oggi via dei Serragli 44).

Figura 3. L'inventore del telefono Antonio Meucci (Firenze, 1808 – New York, 1889).



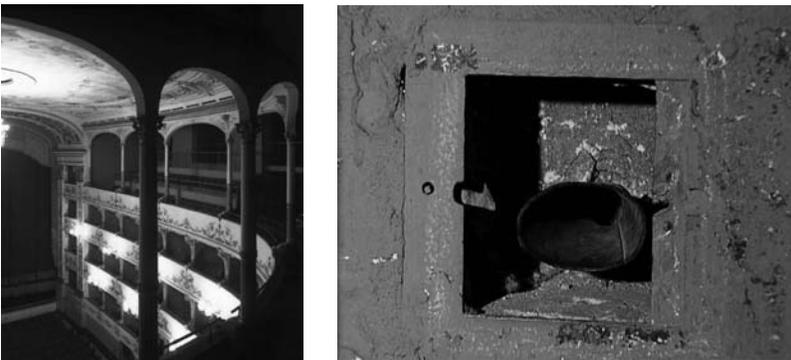
La formazione di Antonio Meucci avvenne a Firenze presso l'Accademia di Belle Arti, dove fu ammesso nel novembre 1821 per frequentare la scuola di Meccanica e Disegno. In base allo Statuto promulgato il 3 ottobre 1784 dal Granduca Pietro Leopoldo, l'Accademia aveva come scopo principale quello della «istruzione pubblica e gratuita, volta non soltanto alle Arti Belle, ma anche alle attività professionali, legate al disegno, connesse con la incentivazione economica delle manifatturiere artistiche toscane». L'Accademia di Belle Arti nel 1821 comprendeva la «Classe delle Arti e del Disegno», la «Classe di Musica e Declamazione» e la «Classe delle Arti Meccaniche», con sede presso il «Conservatorio di Arti e Mestieri», che fu istituito nel 1811 a seguito di un decreto Napoleonico quale parte integrante dell'Accademia di Belle Arti. Il «Conservatorio di Arti e Mestieri» comprendeva un «Museo delle Macchine» ed un «Laboratorio per la fabbricazione di Macchine e Strumenti di Fisica», diretto da Felice Gori, che era dal 1806 «Real Macchinista» presso il Regio Museo di Fisica e Storia Naturale. La Scuola di Chimica, materia da cui era particolarmente affascinato Meucci, era diretta da Antonio Targioni Tozzetti, che diventerà direttore nel 1829 dell'attuale Orto Botanico-Giardino dei Semplici del Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze.

Nel 1823 Amatis Meucci riuscì a far assumere il figlio Antonio come daziere alle porte della città di Firenze. Questo lavoro non soddisfaceva

però il giovane Meucci, che anzi più volte si lasciò andare a bravate ed eccessi che gli causarono numerosi problemi con l'Autorità del Buon Governo, fino addirittura ad essere imprigionato ed espulso dal corpo dei dazieri.

Dopo un periodo di grande difficoltà, nel 1833 (ma la data non è certa), Antonio Meucci iniziò a lavorare come aiuto macchinista al teatro della Pergola, dove fu assunto come assistente del primo meccanico teatrale Artemio Canovetti. Qui poté applicare e perfezionare le nozioni tecniche apprese in Accademia e costruì, tra l'altro, un tubo acustico, come quello ancora oggi usato nelle navi, per comunicare dal piano del palcoscenico a quello dei «soffittisti», a circa venti metri d'altezza. È proprio al Teatro della Pergola che Antonio Meucci conobbe Ester Mochi, l'aiuto costumista con cui si sposò nella Chiesa di Santa Maria Novella, il 7 agosto 1834. Con la sua attività al Teatro della Pergola Antonio Meucci si guadagnò la stima di tutti i suoi colleghi, tanto da diventare l'uomo di fiducia di Alessandro Lanari, uno degli impresari teatrali più importanti d'Italia.

Figura 4. Il teatro della Pergola di Firenze: a sinistra una vista della sala dalla galleria; a destra il telefono acustico installato da Antonio Meucci dietro il palcoscenico per consentire la comunicazione tra il capo macchinista e i macchinisti della «graticcia».



In seguito Antonio Meucci, forse anche per sfuggire alle persecuzioni politiche che seguirono alle cospirazioni del 1833 e 1834 per l'unità d'Italia, in seguito alle quali Meucci sembra sia stato imprigionato per tre mesi con Francesco Domenico Guerrazzi, accettò, insieme alla moglie Ester, una scrittura dall'impresario catalano don Francisco Martí y Torrens, per un impiego come sovrintendente tecnico del Gran Teatro de Tacón di L'Avana a Cuba, allora il più grande d'America.

Fu così che Antonio Meucci il 5 ottobre 1835 lasciò per sempre Firenze, la città che gli aveva dato i natali, in cui aveva vissuto gli anni della giovinezza e la cui tradizione culturale in ambito tecnico-scientifico, aveva determinato la sua formazione, con l'acquisizione di tutto quel bagaglio di conoscenze tecniche e tecnologiche che furono alla base della sua attività di inventore.

Meucci sbarcò a L'Avana il 16 dicembre 1835. Nei quindici anni successivi, oltre che al Teatro de Tacón, egli fu impegnato in numerose attività svolte per conto del governatore, quali l'argentatura e la doratura galvaniche di equipaggiamenti militari (elmi, sciabole, bottoni, ecc.), il progetto e la realizzazione di un complesso di opere per la depurazione delle acque che rifornivano la città e il progetto di ristrutturazione del teatro, che era andato semidistrutto da un uragano. Inoltre Antonio Meucci si dedicò anche a numerosi esperimenti di elettrologia ed elettroterapia, durante uno dei quali, nel 1849, ottenne la trasmissione della parola per via elettrica, divenendo così il primo pioniere del telefono.

Poco prima dell'inizio dei rivolgimenti politici per l'indipendenza di Cuba dalla Spagna, ed essendo scaduto il terzo rinnovo del suo contratto quinquennale con l'impresario Martí, Antonio Meucci lasciò L'Avana per dirigersi a New York, dove giunse il 1 maggio 1850. Si stabilì quasi subito a Clifton, nell'isola di Staten Island, nella baia di New York, dove rimase fino alla morte.

2. L'inventore del «pantelegrafo» (telefax): Giovanni Caselli e Firenze

L'abate Giovanni Caselli nacque a Siena il 27 maggio 1815 e, prima di prendere i voti, studiò fisica a Firenze, come allievo del celebre fisico Leopoldo Nobili (1784-1835), che dal 1832 fu professore di fisica presso il Regio Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze, dove realizzò importanti esperimenti sull'induzione elettromagnetica scoperta da Faraday (a tal proposito è famosa la polemica tra Leopoldo Nobili e Michael Faraday [5])

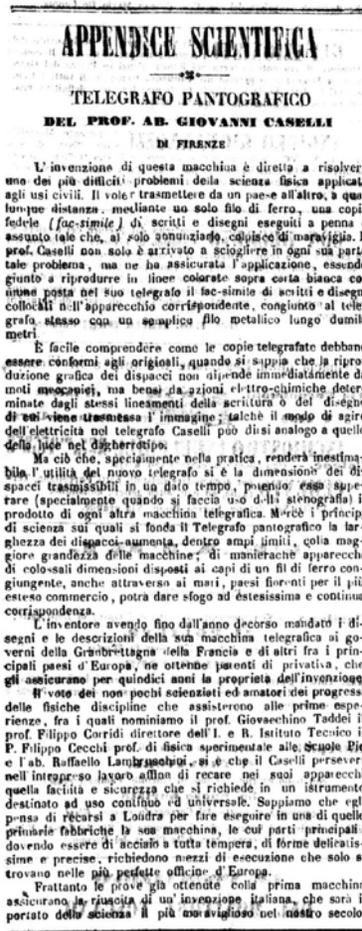
Figura 5. L'inventore del «pantelegrafo» (telefax) Giovanni Caselli (Siena, 1815 – Firenze, 1891).



Dal 1841 al 1849 Giovanni Caselli fu a Modena come istruttore dei figli del Marchese di San Vitale, ma avendo partecipato ai moti per l'annessione del Ducato di Modena al Piemonte venne espulso dal Ducato. Tornato a Firenze iniziò a dedicarsi agli studi delle scienze fisiche, con particolare riguardo all'elettricità, che lo portarono allo sviluppo del suo «pantelegrafo».

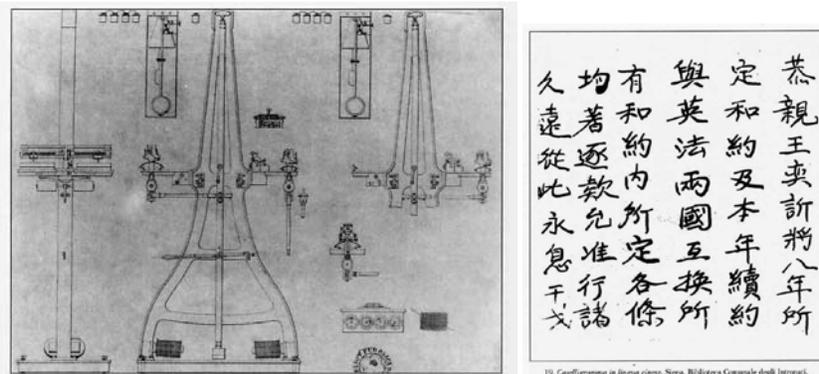
Nel 1856, in una appendice scientifica, il «Monitore Toscano» annunciò risolto da parte di Giovanni Caselli il problema della riproduzione fedele su un foglio di carta bianca posto nel ricevitore, di scritti e disegni eseguiti con inchiostro semplice su un foglio di carta argentata posto nel trasmettitore [6]. Per la sua invenzione Caselli depositò un brevetto per cui è a tutt'oggi universalmente riconosciuto come il padre del moderno telefax.

Figura 6. Appendice scientifica del quotidiano «Monitore Toscano» contenente l'annuncio dell'invenzione del «pantelegrafo» da parte di Giovanni Caselli (No. 126, 1856).



Giovanni Caselli battezzò la sua macchina autotelegrafica «pantelegrafo» o «telegrafo universale», poiché riproducendo una copia identica del documento originale in tutte le sue parti e i suoi tratti, tale sistema era in grado di servire tutti i popoli, indipendentemente dall'alfabeto da essi adottato.

Figura 7. Il «pantelegrafo» di Giovanni Caselli: a sinistra un disegno che mostra il grande pendolo che costituisce la struttura principale dello strumento; a destra un esempio di «caselligramma» in lingua cinese (Siena, Biblioteca Comunale degli Intronati).



Nel 1857 Giovanni Caselli si recò a Parigi per dirigere la costruzione dei nuovi apparecchi autotelegrafici, affidata al costruttore meccanico Cav. Paul Gustave Froment, uno tra i più esperti costruttori di apparecchiature scientifiche e di precisione, a cui Caselli era stato raccomandato dal celebre scienziato Léon Foucault, che nelle officine Froment aveva fatto costruire il suo pendolo.

Nel gennaio 1860 l'imperatore Napoleone III si recò in visita presso le officine Froment, rimanendo estremamente colpito dal «pantelegrafo» di Giovanni Caselli; un mese dopo, a spese del governo francese, alcuni fili per il collegamento tra gli uffici dell'Amministrazione delle linee telegrafiche e l'Osservatorio imperiale di Parigi, furono prolungati fino alle Officine Froment in modo che Caselli potesse disporre di tutta la linea telegrafica francese per le sue sperimentazioni sul campo.

Nel 1865 il «pantelegrafo» iniziò il suo servizio pubblico fra Parigi e Lione, servizio che cessò, quando già erano in progetto delle nuove linee, nel 1870, in seguito alla disfatta di Sedan. In questo periodo Napoleone III, dopo aver invano proposto a Giovanni Caselli la cittadinanza francese per consentirgli di accedere alle funzioni di ispettore generale e coordinatore dei servizi telegrafici francesi, lo insignì della Legione d'Onore.

Il «pantelegrafo» funzionò anche tra Londra e Liverpool per una serie di esperienze che avrebbero dovuto condurre alla istituzione di un servizio pubblico; scopo che venne però frustrato dalla crisi economica che

sconvolse l'Inghilterra nel 1864 e che colpì duramente la Financial Society con la quale Caselli aveva preso accordi definitivi. Anche la Russia si interessò al «pantelegrafo», ma anziché usarlo per un servizio pubblico, lo utilizzò per uno scambio di messaggi tra le due residenze imperiali di San Pietroburgo e Mosca.

Giovanni Caselli morì a Firenze l'8 settembre 1891 a Firenze in una camera dell'Arcispedale di Santa Maria.

3. *L'inventore della radio: Guglielmo Marconi e la città di Firenze*

Guglielmo Marconi nacque a Bologna il 25 aprile 1874. Dal 1882 al 1885 fu a Firenze con la madre Annie Jameson e vi abitò – come documentano alcune lettere che proprio Annie Jameson scrisse al marito Giuseppe conservate presso l'Accademia dei Lincei a Roma – in Piazza D'Azeglio 15 (1882), in Via della Mattonaia 20 e/o 25 (1883), in Corso Vittorio Emanuele (attuale Corso Italia) 9 (1884), in Via Giordani (1884) ed in Via della Scala 8 (1885).

Figura 8. L'inventore della radio Guglielmo Marconi (Bologna, 1874 – Roma, 1937) .



Anche la formazione di Guglielmo Marconi avvenne in Toscana, a Firenze e a Livorno. È poco noto che Guglielmo Marconi fino al 1885 frequentò l'Istituto Cavallero di Firenze, in via delle Terme 29 ed è di questo periodo un famoso episodio narrato da Luigi Solari [7]: «il professor Cavallero chiamò presso la cattedra Guglielmo Marconi [...]». “Occorre pronunciare meglio l'italiano, mio caro ragazzo [...]”. “Avanti, ripeti ad alta voce la poesia del Manzoni *S'ode a destra uno squillo di tromba*”. Dopo qualche istante di esitazione. Guglielmo Marconi iniziò a dire sot-

tovoce e con una certa difficoltà: “A destra suona la tromba – A sinistra risponde una trompa”. Una risata generale accolse queste prime parole. Il nostro piccolo compagno rimase così sconcertato che a nessun costo volle proseguire».

Successivamente Guglielmo Marconi si iscrisse all’Istituto Nazionale di Livorno e seguì, dall’autunno del 1891 all’ottobre del 1892, le lezioni private di fisica, chimica ed elettrologia di Vincenzo Rosa, che aveva insegnato, tra il 1882 e il 1884, presso l’Istituto di Studi Superiori di Firenze, assistente alla cattedra di Antonio Roiti.

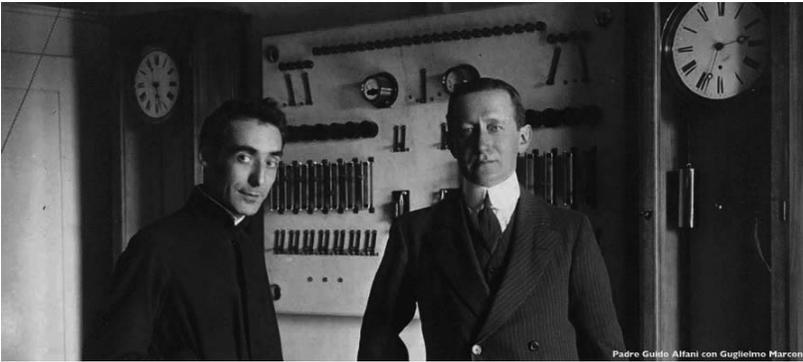
Figura 9. La lapide ancora presente in Via delle Terme 29 a Firenze, già sede dell’Istituto Cavallero.



L’intreccio tra la vita di Guglielmo Marconi e la città di Firenze passò successivamente attraverso l’Osservatorio Ximeniano, di cui il Padre Scolopio Guido Alfani (Firenze, 1876 – Firenze, 1940) fu direttore dal 1905 al 1940. Padre Alfani, studioso di sismologia, meteorologia, astronomia e abilissimo costruttore di strumenti scientifici, realizzò nei sotterranei del convento di San Giovannino una delle stazioni geodinamiche più importanti d’Europa. Inoltre Padre Alfani allestì nel convento di San Giovannino anche una Stazione Radiotelegrafica, che nel 1913 venne visitata dal suo illustre amico Guglielmo Marconi. A Marconi Padre Alfani dedicò una sua pubblicazione dedicata al materiale scientifico dell’Osservatorio Ximeniano e in particolare alla Stazione Radiotelegrafica [8].

Infine tra gli eventi che legano Guglielmo Marconi a Firenze vale la pena ricordare che in occasione del «Marconi’s Day», proclamato il 2 Ottobre 1933, giorno in cui Guglielmo Marconi si recò a Chicago in visita dell’Esposizione mondiale «Un secolo di progresso», le luci dell’Esposizione vennero accese da un raggio di luna captato dal cannocchiale di Galileo Galilei, posto nell’osservatorio di Arcetri a Firenze. Da Arcetri il segnale captato per mezzo di una cellula fotoelettrica venne inviato via

Figura 10. Guglielmo Marconi insieme a Padre Alfani presso l'Osservatorio Ximeniano di Firenze.

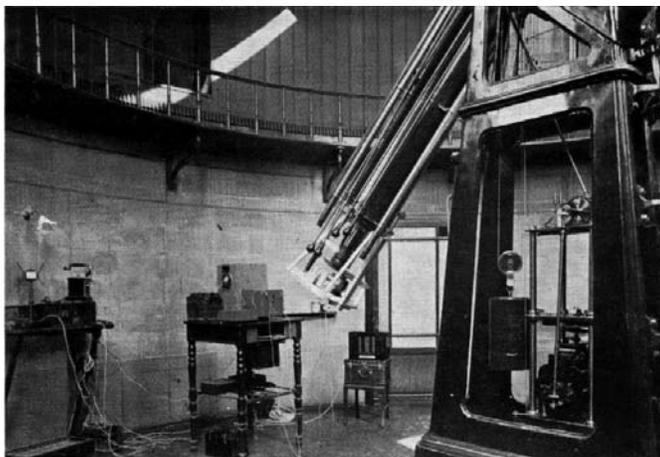


radio alla stazione trasmittente ad onde corte di Prato Smeraldo, che lo ritrasmise a Chicago, dove mediante la chiusura di un relé vennero accese le luci dell'esposizione, nello stupore dei numerosi visitatori [9]. In realtà non è certo che l'esperimento sia riuscito, sembra anzi che sia stato un fallimento e che un pollice su un bottone abbia fatto il lavoro sporco, salvando l'operazione pubblicitaria. L'evento ebbe comunque eco sulla stampa dell'epoca, tanto che su «Il mattino illustrato», nel numero 41 del 9-16 ottobre 1933, venne pubblicata una fotografia di Marconi con la didascalia «Guglielmo Marconi a Chicago: il sommo scienziato italiano fotografato accanto a sua moglie, in America, per le solenni onoranze tributategli all'Esposizione mondiale, illuminata da Arcetri mediante la radiotrasmissione d'un raggio lunare».

Figura 11. La fotografia di Guglielmo Marconi con la moglie, pubblicata su «Il mattino illustrato» in occasione della visita di Guglielmo Marconi all'esposizione mondiale «Un secolo di progresso» di Chicago nel 1933.



Figura 12. L'interno della cupola dell'Osservatorio di Arcetri a Firenze con il telescopio «Amici» e gli apparecchi usati per l'esperimento del 2 Ottobre 1933, quando le luci dell'esposizione internazionale di Chicago vennero accese da un raggio lunare «captato» da Arcetri.



Riferimenti bibliografici

- [1] L. Respighi, *Per la priorità di Antonio Meucci nell'invenzione del telefono*, a cura di Comitato Nazionale per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci, Firenze University Press, Firenze, 2008, <<http://www.fupress.com/scheda.asp?IDV=1757>>.
- [2] Giornale Luce B0352 10/1933 «Chicago. (S.U.A.) Guglielmo Marconi visita l'Esposizione Mondiale del Progresso», <<http://www.archiviolu-ce.com/>>.
- [3] F. Angotti, G. Pelosi (a cura di), *Antonio Meucci e la città di Firenze – Tra scienza, tecnica ed ingegneria*, Firenze University Press, 2009, pp.1-6.
- [4] B. Catania, *Antonio Meucci – L'Inventore e il suo Tempo – Da Firenze a L'Avana*, (Vol. 1), Seat – Divisione STET, Editoria per la Comunicazione, Roma, 1994.
- [5] G. Sbrighi, *La controversia Nobili-Faraday sull'induzione elettromagnetica*, in G. Tarozzi (a cura di), *Leopoldo Nobili e la cultura scientifica del suo tempo*, Nuova Alfa Editoriale, 1985, pp. 69-95
- [6] G. Pagni, *Il telegrafo universale del Prof. Giovanni Caselli*, Tipografia F.lli Bencini, Firenze-Roma, 1887.
- [7] L. Solari, *Marconi – Nell'intimità e nel lavoro*, A. Mondadori, Milano, 1940, p. 4.
- [8] G. Alfani, *La Stazione Radiotelegrafica*, «L'Osservatorio Ximeniano e il suo materiale scientifico», stabilimento tipografico S. Giuseppe, Firenze, 1912, Vol. V.
- [9] A. Colacevich, *La luce lunare trasmessa per radio da Arcetri a Chigago*, «Arce-tri Varie», 1933, pp. 4-11.

LE COMUNICAZIONI ELETTRICHE DALL'OTTOCENTO AD OGGI

Leonardo Calandrino

Le comunicazioni elettriche hanno avuto origine nell'Ottocento, quando le grandi scoperte scientifiche sull'elettromagnetismo sono state applicate, si potrebbe dire in tempo reale, alla trasmissione dell'informazione. Nel Novecento gli sviluppi della Matematica Applicata e della Fisica dello Stato Solido hanno reso possibile l'impiego di potenti algoritmi di elaborazione dell'informazione, rappresentata in forma numerica: è caduta ogni barriera fra le Telecomunicazioni e l'Informatica e dalla loro convergenza è nata la ICT (Information&Communication Technology). Nel breve spazio assegnato a questa nota viene presentata una rapida sintesi dello sviluppo che in due secoli hanno avuto i sistemi di elaborazione, trasmissione e memorizzazione dell'informazione fondati sull'elettromagnetismo.

Sin dalle origini dell'umanità si è manifestata l'esigenza di mettere in comune conoscenze, sentimenti, ecc., in altre parole di *comunicare*: comunicare *nello spazio* (cioè rendere disponibile un messaggio in un punto fisicamente distinto da quello in cui è stato generato) e *nel tempo* (ossia memorizzare un messaggio per renderlo disponibile nel prosieguo del tempo).

Prima dell'Ottocento, ossia del secolo in cui si sono avute le grandi scoperte scientifiche sull'elettromagnetismo, le comunicazioni a distanza erano essenzialmente ottiche (falò, segnali di fumo, telegrafia ottica) o acustiche (strumenti a fiato, a percussione), mentre le comunicazioni nel tempo avvenivano con l'impiego di vari tipi di alfabeto (cuneiforme, geroglifico, greco, latino, ecc.) e di supporti dell'informazione (tavolette di argilla, papiri, tavolette di cera, carta, ecc.).

È importante osservare che In tutti questi sistemi di comunicazione (nello spazio e nel tempo) l'informazione viene recata da una successione di simboli di un alfabeto finito, cioè da un segnale tempo-discreto e discreto nei valori (*segnale digitale*): *le comunicazioni nascono digitali*.

L'Ottocento è il secolo in cui si sono avuti i grandi sviluppi dell'elettromagnetismo. Già ai tempi di Talete era noto che un frammento di ambra, se strofinato, attira a sé delle piume e che un minerale di ferro (magnetite) ha la proprietà di attrarre la limatura di ferro. In origine i due tipi

di attrazione sono confusi fra loro. Successivamente attrazione elettrica e attrazione magnetica vengono chiaramente distinte, viene evidenziata l'esistenza di due tipi di elettrizzazione (quella *vetrosa o positiva* e quella *resinosa o negativa*) e vengono introdotti il concetto e la terminologia dei due *poli*, *Nord* e *Sud*, della calamita. Nella seconda metà del Settecento si sviluppa l'Elettrostatica moderna (v. legge di Coulomb, 1785), mentre per quanto concerne il magnetismo l'unico conosciuto fino al 1820 era quello dei magneti di ferro e della magnetite.

All'inizio dell'Ottocento avviene la scoperta della pila, annunciata da Alessandro Volta con lettera autografa in data 20 marzo 1800 alla Royal Society di Londra (www.scienceandsociety.co.uk). Il nuovo secolo si apre con la possibilità di mantenere una corrente elettrica continua in un circuito e iniziano gli esperimenti sui suoi effetti, destinati a trasformare profondamente in breve tempo la Fisica, la Chimica e il mondo delle comunicazioni: *nascono le Comunicazioni Elettriche*.

In sintesi, alcuni passi fondamentali:

1820 – Dopo una serie di esperienze Hans Christian Oersted scopre che una corrente elettrica genera un campo magnetico. André-Marie Ampère esprime quantitativamente il contributo di un elemento di corrente all'induzione magnetica.

1831 – Michael Faraday scopre l'induzione elettromagnetica. Per interpretare i risultati sperimentali introduce i concetti di campo elettrico e campo magnetico con una descrizione geometrica mediante «*linee di forza*». Joseph Henry studia i fenomeni di autoinduzione. Mette a punto un elettromagnete, a cui segue l'ideazione di un relè.

Queste scoperte vengono utilizzate, quasi in tempo reale, nel mondo delle comunicazioni: Samuel Morse realizza un *telegrafo elettromagnetico* codificando l'informazione (codice di Morse) e usando il relè di Henry e Meucci/Bell trasformano un segnale sonoro in variazioni di una corrente elettrica (microfono elettromagnetico) e viceversa (altoparlante) realizzando così il *telefono*.

Fra i successivi passi nello sviluppo dell'elettromagnetismo citiamo:

1864 – James Clerk Maxwell presenta alla Royal Society la memoria «*A dynamical Theory of the Electromagnetic Field*» che predice l'esistenza di onde elettromagnetiche. Vengono unificati i fenomeni elettrici, magnetici ed ottici.

1886 – Heinrich Hertz dimostra sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche.

1889 – Le esperienze di Augusto Righi a Bologna confermano che le onde elettromagnetiche presentano gli stessi fenomeni di riflessione,

rifrazione, diffrazione e polarizzazione delle onde luminose, confermando l'identità della natura dei due tipi di radiazione.

Di nuovo queste scoperte vengono applicate alle comunicazioni e nel 1895 iniziano a Pontecchio (Bologna) gli esperimenti di Guglielmo Marconi sulla propagazione delle onde elettromagnetiche finalizzati alla *telegrafia senza fili* (oggi radiocomunicazioni).

L'Ottocento ha dunque visto svilupparsi un nuovo mezzo di propagazione: la distanza fra la sorgente dell'informazione e l'utilizzatore della stessa viene coperta mediante propagazione di onde elettromagnetiche, guidata (comunicazioni su linea metallica) o libera (comunicazioni radio). Peraltro dobbiamo osservare che i sistemi di trasmissione realizzati nell'Ottocento utilizzano una rudimentale elaborazione dei segnali.

Nella prima metà del Novecento (e un po' oltre) assistiamo a un rapido sviluppo dei sistemi analogici che, raggiunte eccezionali vette tecnologiche, a partire dalla seconda metà del secolo cominciano a cedere il passo ai sistemi digitali (*ritorno alle origini*). Inizia il tramonto delle comunicazioni analogiche.

Questa transizione avviene per effetto di algoritmi di elaborazione via via più potenti dei segnali codificati in forma numerica (*segnali digitali*), resi possibili dagli sviluppi della *Matematica Applicata* (Segnali, Sistemi, Teoria dell'Informazione, Analisi Armonica, Statistica Matematica) e della *Fisica dello Stato Solido* (*Circuiti Integrati*).

Citiamo alcuni «profeti» del Novecento:

Per la *Matematica Applicata*:

1928 – Henry Nyquist (Bell Labs): *Certain Topics in Telegraph Transmission Theory*.

1949 – Norbert Wiener (MIT): *Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series*.

1944 – Stephen Rice (Bell Labs): *Mathematical Analysis of Random Noise*.

1948 – Claude Shannon (Bell Labs/MIT): *A Mathematical Theory of Communications*.

Per l'*integrazione allo stato solido*:

1947 – Bardeen, Brattain, Shockley (Bell Labs): Transistor.

1958 – Kilby (TI) e Noyce (Fairchild): Primo circuito integrato. A seguire Bell Labs ® Shockley Labs ® Fairchild ® Intel (e altri).

1965 – Legge di Moore (non legge fisica, ma socio-economica): La densità dei componenti su un chip raddoppia ogni 18 mesi. Dal 1965 al 2007 si sono avuti 28 raddoppi (da 4 a 10^9 componenti per chip), con riduzione proporzionale del costo, e la velocità è passata dai Mbit/s ai Gbit/s.

Figura 1 – Trasmissione nello spazio.

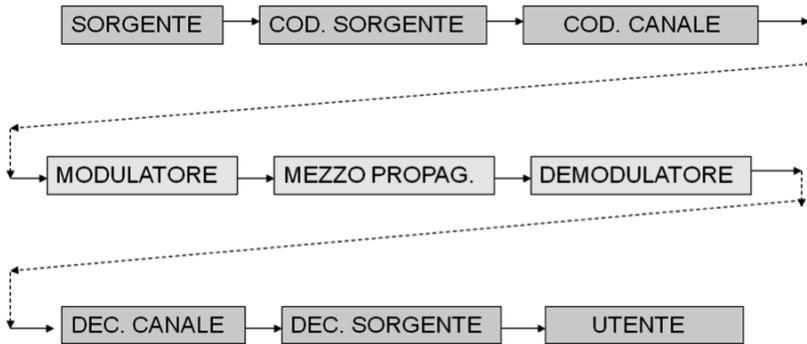


Figura 2 – Trasmissione nel tempo.

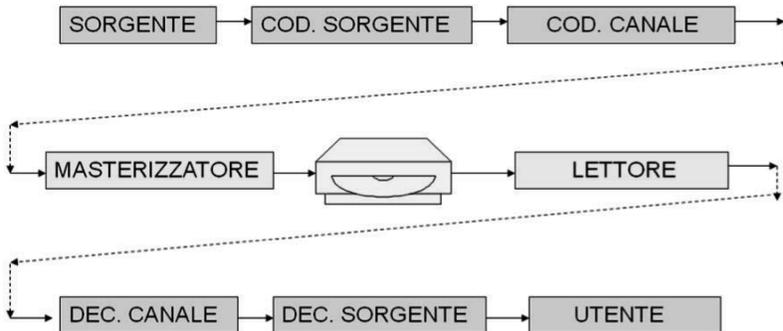
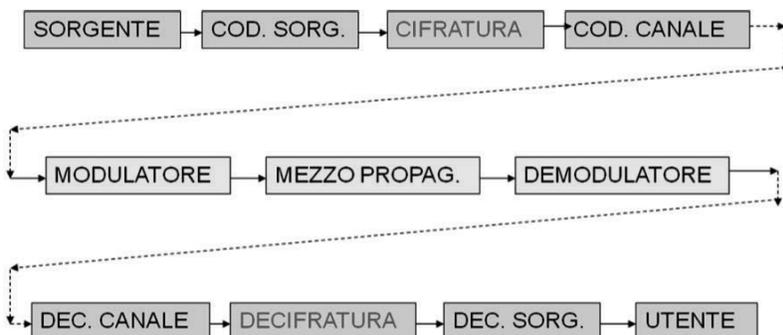


Figura 3 – Trasmissione nello spazio con protezione dell'informazione.



I tre schemi a blocchi riportati nelle figure 1, 2, 3 indicano chiaramente le operazioni di codifica che stanno alla base dei moderni sistemi di trasmissione e i cui limiti teorici sono stati messi in luce da Claude Shannon (Teoria dell'Informazione):

Source coding (codifica di sorgente): primo e terzo teorema di Shannon,

Channel coding (codifica di canale): secondo teorema di Shannon.

Secrecy coding (crittologia e obiettivi correlati): cifrario perfetto secondo Shannon.

Gli schemi delle figure 1 e 2 evidenziano l'analogia fra le trasmissioni nello spazio e quelle nel tempo: cambia solo il canale di trasmissione (i cui tre blocchi funzionali sono evidenziati in giallo) con le corrispondenze modulatore \leftrightarrow masterizzatore, mezzo di propagazione \leftrightarrow organo di memoria, demodulatore \leftrightarrow lettore).

Dalla caduta della barriera fra il mondo delle Telecomunicazioni e quello dell'Informatica e dalla loro convergenza nasce la ICT (Information&Communication Technology). Lo scenario è ben descritto dall'acronimo (peraltro non abbastanza usato) ICE (Integrated Communication Environment): l'informazione, disponibile ovunque e in ogni istante, viene considerata come elemento costitutivo dell'ambiente, quasi «palpabile».

Oggi le comunicazioni multimediali interattive costituiscono il «tessuto nervoso» della nostra società (Società dell'Informazione). Cosa sarebbe dell'uomo privato del proprio tessuto nervoso?

COGNITIVE NETWORKING: NUOVE PROSPETTIVE PER LE COMUNICAZIONI AVIONICHE

Romano Fantacci, Andrea Tani

Abstract. Questo lavoro ha come oggetto l'applicazione delle tecnologie delle Cognitive Radio alla modernizzazione in senso digitale delle comunicazioni avioniche, permettendo così un incremento della sicurezza, della qualità e del numero di servizi offerti. Come evidenziato nel lavoro, le tecnologie cognitive rendono inoltre possibile la coesistenza del sistema analogico e quello digitale ed un uso più efficiente e flessibile dello spettro radio.

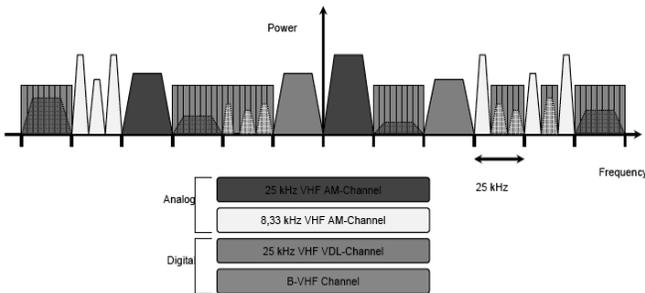
1. Le Cognitive Radio applicate alle comunicazioni avioniche

Le comunicazioni aeronautiche in banda VHF (Very High Frequency) occupano lo spettro radio tra 118 e 137 MHz che è suddiviso in canali voce da 25 kHz o 8.33 kHz.

Allo scopo di migliorare l'efficienza e la sicurezza delle trasmissioni oltre al numero di servizi offerti e appare naturale l'evoluzione in senso digitale delle comunicazioni aeronautiche ora quasi completamente analogiche.

Il sistema proposto in questo contesto (per maggiori dettagli vedi [1]) è il *Broadband-VHF* (B-VHF) basato sulla tecnica di accesso multiplo *OFDMA* (Orthogonally Frequency Division Multiple Access) come evidenziato in Figura 1

Figura 1. Il sistema B-VHF e il sistema preesistente.



Questo tipo di accesso ha il vantaggio di minimizzare l'interferenza con il preesistente sistema analogico, in modo che i due sistemi possano coesistere permettendo così una transizione graduale al sistema totalmente digitale.

In particolare in questo lavoro viene proposto un approccio di tipo Cognitivo per realizzare quanto esposto in precedenza.

La principale caratteristica di una Cognitive Radio (CR) è quella di effettuare un'analisi dello scenario elettromagnetico (ovvero *spectrum sensing*) in cui si trova ad operare adattandosi in maniera dinamica ai cambiamenti di contesto.

In particolare la CR costituisce un utente secondario e utilizza lo *spectrum sensing* allo scopo di individuare gli *spectrum holes* ovvero le bande temporaneamente non occupate da comunicazioni primarie o *licensed* per allocarvi la propria trasmissione.

In questo lavoro vengono analizzate le prestazioni di una tecnica di *spectrum sensing* incoerente detta *energy detector* come allo scopo di allocare negli *spectrum holes* delle comunicazioni VHF (utente Primario o *licensed*), il sistema B-VHF. In questo modo tramite una gestione dinamica dello spettro radio ne viene incrementata l'utilizzazione e il data-rate.

2. Tecniche di *spectrum sensing*

In questa sezione effettuiamo un breve *overview* delle principali tecniche di *Spectrum Sensing*.

In generale tali tecniche possono essere di tre tipi: la prima è filtro adattato, che può essere utilizzato solo attraverso una conoscenza a priori dell'utente primario e grazie alla ricezione coerente richiede soltanto $O(1/SNR)$ campioni per raggiungere una data probabilità di *missed detection*. Il maggiore svantaggio di questo metodo è la scarsa flessibilità in quanto richiede un ricevitore dedicato per ogni tipo di utente primario.

L'*energy detector*, invece impiega un rivelazione non coerente e può essere implementato come un analizzatore di spettro digitale basato sulla FFT e sul metodo della stima di Welch per ottenere una stima spettrale consistente.

Un vantaggio di questa tecnica rispetto al filtro adattato è la flessibilità, in quanto si impostano solo due parametri: dimensione dell'FFT, per incrementare la risoluzione in frequenza e rivelare più facilmente segnali a banda stretta e tempo di osservazione (*sensing time*). Tempi di osservazione più lunghi permettono di mediare la potenza di rumore e incrementano l'SNR.

Tuttavia questo metodo è sensibile alle variazioni della potenza di rumore e necessita di una soglia adattativa. Inoltre è del tutto inefficace per estrarre informazioni come modulazione usata o tipo di segnale trasmesso e per rivelare segnali *spread spectrum*.

Infine un terzo metodo, detto *Ciclostazionario*, permette di rivelare, attraverso la valutazione della funzione di correlazione spettrale (SCF), le caratteristiche di modulazione di vari segnali. Infatti segnali con modulazioni differenti hanno la stessa densità spettrale di potenza (PSD), ma possono avere distinte SCF; inoltre il rumore stazionario ha una SCF nulla.

3. Tecnica di spectrum sensing proposta

L'algoritmo proposto è un Energy Detector a Probabilità di Falso Allarme Costante (P_{fa}) che utilizza una stima spettrale non-parametrica (Welch Periodogram).

Ipotizziamo poi di considerare *chi-squared* la distribuzione dei campioni di PSD.

In particolare viene utilizzato un *assessment window*, ovvero una finestra di N campioni per estrarre i parametri statistici significativi della distribuzione della PSD nel caso di assenza di utente primario, ottenendo un Intervallo di Confidenza (CI) per ogni bin di frequenza per una P_{fa} prefissata.

All'interno di una *evaluation window* si valuta poi se le fluttuazioni della PSD sono tali da decidere la presenza dell'utente primario, usando il CI come soglia.

Quindi abbiamo due ipotesi statistiche mutuamente esclusive da valutare: H_0 ovvero l'ipotesi nulla (assenza del segnale dell'utente primario) e l'ipotesi alternativa H_1 (presenza dell'utente primario).

In Figura 2 è illustrata la PSD simulata di tre canali VHF spazati di 25 KHz (modulazione di ampiezza a doppia banda laterale con trasmissione della portante (AM DSB- TC)).

La Figura 3 illustra i risultati di simulazioni numeriche mostrando la P_{md} in funzione della potenza ricevuta (dBW) dell'utente primario in banda VHF per due valori diversi di P_{fa} , per canali spazati di 25 KHz.

In tale figura si evidenzia la sensibilità e l'affidabilità del detector nell'individuare le bande occupate dalle comunicazioni primarie.

Aumentando la P_{fa} la rivelazione diviene più affidabile, ma il detector è meno sensibile nel rivelare segnali di potenza più bassa.

È inoltre importante sottolineare che attraverso le simulazioni numeriche è stato provato che il *sensing time* necessario per raggiungere una $P_{fa} \sim 10^{-4}$ e una $P_{md} \sim 10^{-3}$ risulta non superiore a 20 ms.

In questo modo il terminale cognitivo *on board* effettua lo spectrum sensing in modo affidabile durante il frame FL (forward-link, Terra-Bordo) di durata ~ 20 ms.

Infatti è previsto che lo standard B-VHF il TDMA (Time-Division Multiplexing), per cui abbiamo una trama in cui si alternano *frame* FL a *frame* RL (reverse-link, Aereo-Terra).

Conclusioni

Il sistema B-VHF può garantire garantisce un incremento dell'affidabilità, sicurezza e servizi richiesti per le comunicazioni aeronautiche.

Le simulazioni numeriche effettuate in questo lavoro dimostrano come le tecnologie cognitive (in particolare la tecnica di *spectrum sensing* propo-

sta) garantiscono un utilizzo efficiente della banda aeronautica e un incremento del *throughput* in quanto rivelando in modo affidabile gli *spectrum holes* permettendo una gestione flessibile e dinamica dello spettro radio.

Figura 2. PSD simulata dei canali-VHF spazati di 25 KHz.

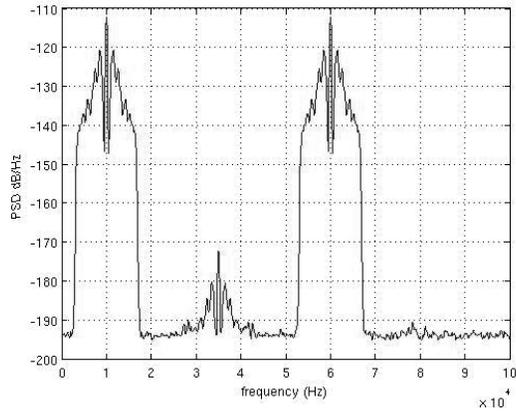
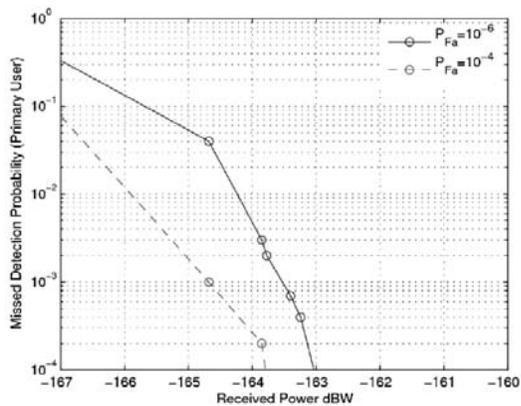


Figura 3. P_{MD} vs Potenza ricevuta per 2 valori di P_{fa} , 10^{-4} , 10^{-6} .



Riferimenti bibliografici

- R. Fantacci, A.Tani, *Performance Evaluation of a Spectrum-Sensing Technique for Cognitive Radio Applications in B-VHF Communication Systems*, «Ieee Transactions on Vehicular Technology», Vol. 58, n. 4, May 2009.

PARTE II

INTERVENTI SELEZIONATI SU BASE OPEN CALL

SISTEMA DI DIAGNOSI E CORREZIONE DI ERRORI PER DISPOSITIVI AVIONICI IN PRESENZA DI SINGLE EVENT UPSET (SEU)

Lorenzo Ciani

Nel settore aeronautico la componentistica elettronica è spesso sottoposta a fenomeni di vario genere, come radiazioni dovute a ioni carichi e raggi gamma, nonché condizioni critiche per effetto sia di temperatura che di sollecitazioni meccaniche. Mentre per limitare l'influenza sul corretto funzionamento del dispositivo da parte di quest'ultimi esistono tecniche consolidate, resta aperto il problema degli effetti indotti dalle radiazioni. Non esiste infatti, ad oggi, un approccio standard, valido per le diverse applicazioni, ma tecniche diversificate la cui implementazione consente di realizzare sistemi altamente affidabili e con elevate prestazioni.

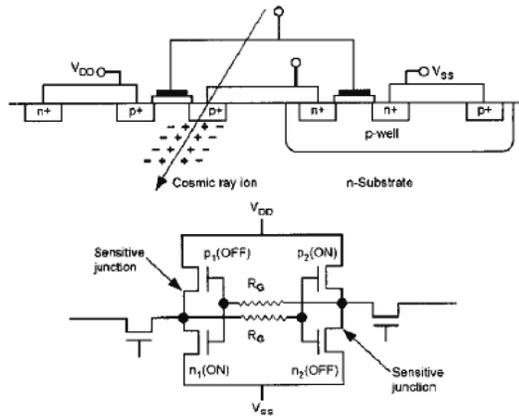
Fino a pochi anni fa, a queste esigenze si è risposto con la realizzazione di componenti che singolarmente non erano soggetti a guasti nell'ambiente aerospaziale, tali da garantire il corretto funzionamento del sistema, ma con costi elevati e scelta limitata di dispositivi. Queste considerazioni stanno facendo emergere una nuova tendenza, verso l'uso di componenti commerciali, COTS, Commercial Off The Shelf. Questa tipologia di componenti, inseriti in sistemi opportunamente ridondati e controllati con circuiti di diagnosi, consentono una riduzione dei costi, elevata integrazione e maggiore capacità di calcolo.

In ambito avionico trovano ampio utilizzo i dispositivi a logica programmabile, in particolare FPGA (Field Programmable Gate Array), che associano all'elevata versatilità elevatissime capacità di integrazione e di calcolo. Tuttavia, uno degli svantaggi delle FPGA, in particolare della tipologia SRAM-based, risiede nella grande sensibilità della memoria di configurazione alle radiazioni ionizzanti e quindi a fenomeni di Single Event Upset (SEU, ossia di commutazione del bistabile da uno stato di memoria a quello complementare) generati dal passaggio di una singola particella ionizzante nei pressi dei nodi sensibili di una cella di memoria.

Questo lavoro di ricerca parte proprio dall'analisi della radiazione cosmica, degli effetti di tale radiazione sui dispositivi elettronici [1], [2], [3] e di come stimare la loro sensibilità alla radiazione attraverso vari modelli di calcolo del tasso di upset [4].

Se i raggi cosmici possono generare direttamente questi fenomeni in ambienti extraterrestri, in applicazioni avioniche o anche a livello del mare, le particelle che possono provocare dei SEU sono principalmente i neutroni atmosferici. Ovviamente avendo carica elettrica nulla i neutroni non agiscono direttamente nella generazione di SEU, ma attraverso le reazioni nucleari con atomi del chip. I prodotti di tali reazioni possono essere ioni con energia sufficiente da percorrere, nel chip, distanze di qualche micrometro. Se la successione di coppie elettrone-lacuna generata lungo la traccia da uno di questi ioni viene raccolta da un nodo sensibile, allora si può originare un SEU in una cella di memoria (Figura 1).

Figura 1. Esempio di SEU in una cella SRAM.



Corruzioni di bit nella memoria di configurazione possono modificare la funzionalità implementata nella FPGA, con gravi conseguenze a livello di sistema soprattutto in applicazioni critiche come il settore aeronautico ma anche spaziale, automobilistico, biomedicale.

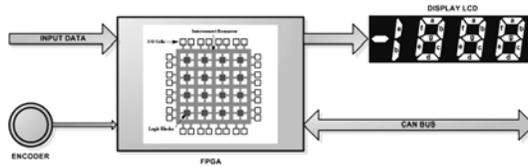
Per questo motivo, molte aziende produttrici di componenti a semiconduttore (IBM in primis, ma anche Intel, Texas Instruments, STMicroelectronics, Altera, Xilinx, per citarne solo alcune) perseguono una campagna di monitoraggio costante della sensibilità dei componenti da loro prodotti nei confronti dei fenomeni indotti dai neutroni atmosferici [5].

Per mezzo dell'analisi delle tecniche di diagnostica e mitigazione di tali disturbi come il bit di parità, la codifica SEC-DED (Single Error Correction Double Error Detection), la tecnica CRC (Cyclic Redundancy Check) e TMR (Triple Modular Redundancy) [6], [7], la ricerca si propone di sviluppare un metodo che permetta di utilizzare dispositivi FPGA in applicazioni critiche mediante soluzioni progettuali che le rendano meno sensibili ai fenomeni SEU, evitando l'uso eccessivo di

ridondanze che comportano spesso uno spreco di risorse, permettendo un notevole abbattimento dei costi e un significativo aumento delle potenzialità offerte ai progettisti.

Il sistema che è stato sviluppato e realizzato consiste in un pannello di controllo integrato (Integrated Control Panel – ICP, Figura 2) da installare nel cockpit di un aeromobile.

Figura 2. Schema a blocchi sistema ICP.

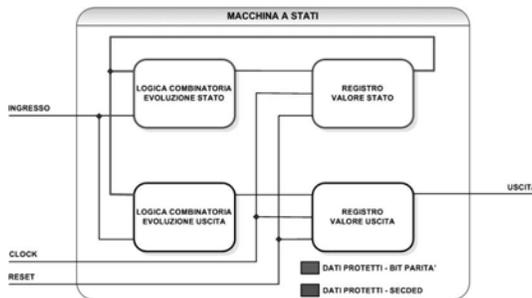


Attraverso una dettagliata analisi e valutazione del rischio e lo studio affidabilistico delle possibili opzioni progettuali, sono state scelte le tecniche più opportune a soddisfare i requisiti di progetto [8, 9].

Nella realizzazione del sistema di diagnosi e mitigazione dei disturbi è stata scelta, per la protezione della memoria di configurazione, la tecnica CRC.

Per le macchine a stati è stata realizzata un'evoluzione della tecnica SEC-DED, utilizzandola insieme al metodo del bit di parità per proteggere sia il registro con la codifica SEC-DED da eventuali upset sia il segnale all'interno della logica per effetto di eventuali transitori tramite il bit di parità, Figura 3.

Figura 3. Schema a blocchi tecnica fault tolerant per le macchine a stati.



Per verificare le scelte progettuali sono stati realizzati specifici test, simulando la presenza di upset per i blocchi presenti nel sistema. Ciò ha consentito di verificare come il sistema sia tollerante al guasto. Da sotto-

lineare che è stata evidenziata una potenzialità maggiore delle aspettative da parte del sistema stesso nella rivelazione di errori multipli.

È possibile concludere che il lavoro di ricerca ha portato alla realizzazione di un metodo innovativo per la diagnostica e la mitigazione di fenomeni SEU in ambito avionico, di facile implementazione, dai costi contenuti utilizzando componenti commerciali (COTS). La tecnica proposta può essere applicata a qualsiasi altro sistema elettronico a logica programmabile presente in un aeromobile. Da evidenziare il fatto che il problema dell'affidabilità dei sistemi elettronici a causa di disturbi da radiazione sta interessando, oltre quello aerospaziale, anche altri contesti applicativi (automotive, ferroviario, biomedicale). In tal senso il know-how acquisito e le tecniche di diagnostica e mitigazione realizzate e proposte in questo lavoro possono essere impiegate vantaggiosamente anche in altri ambiti, potenzialmente critici dal punto di vista dei fenomeni legati a radiazione.

Riferimenti bibliografici

- J.F. Ziegler (1998). Terrestrial cosmic rays intensities. *IBM J. Res. Develop.*, Vol. 42, No. 1.
- E. Normand (1996). Single-Event Effects in Avionics. *IEEE Transaction on Nuclear Science*, Volume 43, Issue 2, Part 1, April.
- E. Normand, T.J. Baker (1993). Altitude and latitude variations in avionics SEU and atmospheric neutron flux, *IEEE Transaction on Nuclear Science*, Volume: 40, Issue: 6, Part 1-2, Dec.
- Justin A. Sarlese (2000). *Development of a semi-empirical model for SEUs in modern DRAMs*. U.S. Naval Academy, Annapolis – MD.
- Overview of iROC Technologies Report: radiation results of the test of FPGA december 2005*. Actel, Aug. 2006.
- W. Heidergott (2005). SEU Tolerant Device, Circuit and Processor Design. *Proc. of the 42nd Annual ACM/IEEE Design Automation Conference*, Anaheim, CA, USA, 13-17 June.
- L. Ciani, M. Catelani, G. Iuculano (2007). Fault Diagnosis on Board for Analog to Digital Converters. *Proc. of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Warsaw, Poland, May 1-3.
- L. Ciani, M. Catelani, L. Veltroni (2008). *Analisi e sviluppo di tecniche di diagnosi per la mitigazione dei disturbi in campo aeronautico*. Atti del XXV Congresso Nazionale GMEE, Monte Porzio Catone (Roma), Sept. 7-10.
- L. Ciani, M. Catelani, L. Veltroni (2008). Fault tolerant techniques to diagnose and mitigate Single Event Upset (SEU) effects on electronic programmable devices. *Proc. of 16th IMEKO TC4 Symposium*, Florence, Italy, Sept. 2224.

CARATTERIZZAZIONE DELL'INTERFERENZA:
UNA STRATEGIA DI ASCOLTO DELL'AMBIENTE RADIO
PER RETI WIRELESS COGNITIVE A BANDA ULTRA LARGA

Daniele Domenicali

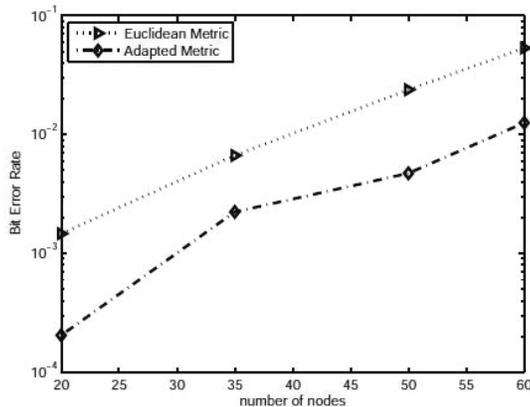
Il mondo delle comunicazioni wireless si presenta oggi molto più complesso e differenziato di quanto non fosse solo pochi anni fa. Se da un lato la gamma di servizi offerti è in continua espansione e i dispositivi wireless risultano sempre più potenti ed economici, dall'altro la risorsa radio non è al momento efficientemente sfruttata a causa di politiche di allocazione discutibili, maschere di emissione troppo rigide e limitazioni tecnologiche. Il concetto di radio cognitiva (*cognitive radio*) [1] offre delle concrete linee guida per il superamento di tali ostacoli: la necessità di «ascoltare» l'ambiente radio circostante (*sensing*) al fine di verificare la presenza di sorgenti interferenti e la conseguente pianificazione di una strategia operativa basata sulle informazioni acquisite e sulla capacità di apprendimento da eventi passati [2]. Considerevoli sforzi sono stati dedicati negli ultimi anni allo studio di meccanismi di strato fisico, quali ad esempio tecniche di tipo *Detect And Avoid*, che consentano ad un sistema secondario di determinare la presenza di un trasmettitore primario e di reagire di conseguenza. L'implementazione di tali meccanismi realizza solo parzialmente il paradigma cognitivo, visto che un sistema adattativo non è ad esempio supportato dalla capacità di apprendimento e da strategie che consentano la formulazione di una decisione globalmente ottima. Qualunque sia il livello di «cognitività» che si desidera introdurre nelle dinamiche della rete, è immediato constatare che uno degli aspetti più delicati e interessanti per l'efficace implementazione di ciascuna fase del paradigma cognitivo è rappresentato dalla procedura di *sensing*, che deve sia fornire un quadro accurato dell'ambiente radio, sia presentare tempi operativi non troppo elevati per evitare che i dati rilevati diventino obsoleti rispetto alle dinamiche del canale trasmissivo.

Questo lavoro si propone di fornire dei risultati preliminari sui possibili effetti dell'introduzione di una procedura di *sensing* accurata volta a determinare la reale distribuzione dell'interferenza multiutente presente nella rete al fine di ottenere un miglioramento prestazionale. Lo strato fisico utilizzato è basato sulla tecnologia Ultra Wide Band (UWB) impulsiva [3], che da un lato deve coesistere con le altre trasmissioni wire-

less attive, data la larghissima banda occupata, dall'altro offre una vasta gamma di parametri di segnale, legati alla forma d'onda impulsiva di base, oltre che al tipo di codifica utilizzata, che possono essere sfruttati per l'applicazione di strategie cognitive volte a mitigare l'effetto dell'interferenza causata o subita. In particolare, in questo lavoro, sono state studiate le prestazioni di una rete di sensori UWB a basso data rate (in linea con le specifiche fornite dallo standard IEEE 802.15.4a) in presenza o meno di una procedura di *sensing* che modella la distribuzione interferente in accordo ai parametri propri della Distribuzione Gaussiana Generalizzata (GGD), senza presupporre, dunque, una Distribuzione Gaussiana Standard del contributo interferente, ipotesi spesso non adeguata per la valutazione di prestazione in molti scenari caratteristici delle reti di sensori [4]. In accordo ai parametri stimati, viene adottata una metrica non euclidea per la decodifica del codice convoluzionale utilizzato in trasmissione, ricordando che la metrica di tipo euclideo è direttamente legata all'ipotesi gaussiana.

In Figura 1 è mostrato il miglioramento ottenibile in ricezione applicando tale procedura al variare del numero di nodi della rete, nel caso in cui la posizione del nodo di riferimento vari rispetto ad un ricevitore centrale e si mediano i risultati ottenuti.

Figura 1. Prestazione della rete quando sono utilizzate una metrica euclidea e una metrica adattata alla distribuzione interferente. In ascissa il numero crescente di nodi e in ordinata il Bit Error Rate.



L'evidente miglioramento prestazionale deriva dunque, in questo caso, da una più accurata descrizione e valutazione delle caratteristiche dell'interferenza multiutente presente nel sistema, che consentono una decodifica più robusta del segnale ricevuto. La complessità computazionale e quindi l'intervallo temporale necessari alla stima dei parametri caratterizzanti la GGD variano notevolmente in accordo al numero di

campioni utilizzati per stimare la *kurtosis* (fattore di picco) della distribuzione. I risultati presentati in questo lavoro tengono conto del tempo di coerenza del canale trasmissivo nello stimare la distribuzione interferente, mettendo in evidenza il fatto che anche una stima «rapida» dei parametri del modello conduce a miglioramenti prestazionali significativi.

Il presente lavoro si inserisce nel contesto relativo al Progetto di Ricerca di Ateneo «Il paradigma cognitivo: verso la coesistenza radio delle reti di comunicazione wireless», Dipartimento INFOCOM, Facoltà di Ingegneria, Sapienza Università di Roma.

Riferimenti bibliografici

- [1] J. Mitola and G. Q. Maguire (1999). Cognitive radio: Making software radios more personal. *IEEE Personal Communications*, 6(4):13-18, August.
- [2] S. Haykin (2005). Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23 no. 2, pp. 201-220.
- [3] Di Benedetto, M.-G. and Giancola G. (2004). *Understanding Ultra Wide Band Radio fundamentals*, Prentice Hall.
- [4] Jocelyn Fiorina, D.Domenicali (2007). Revisiting TH-IR-UWB performance limits dependency on essential system parameters using the Generalized Gaussian Approximation, *IEEE International Conference on Ultra-Wideband ICUWB 2007*, Singapore, September 24-26.

STRUMENTI DI SIMULAZIONE PER IMPIANTI IGCC CON CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂

Silvia Canevese

Abstract. Nell'ambito delle tecnologie per il carbone pulito, particolare attenzione va rivolta al controllo di processo, per la crescente complessità strutturale degli impianti e per la presenza di processi multicomponente e multifase e di reazioni chimiche. Si descrivono qui alcune attività di modellistica dinamica e di studio di problemi di controllo per un impianto pilota di tipo *Integrated Gasification Combined Cycle*, in vista della costruzione di un simulatore da usare come supporto per la progettazione e lo studio delle manovre d'esercizio.

Si ritiene che, almeno per i prossimi 30-40 anni, i combustibili fossili, ed in particolare il carbone, saranno nel mondo la fonte primaria più importante per la produzione di energia elettrica. Tuttavia, un loro impiego sostenibile richiede la riduzione delle emissioni inquinanti (ossidi di zolfo e di azoto, polveri, microinquinanti come mercurio e idrocarburi) e di gas serra (CO₂). Da ciò un notevole impegno di risorse, a livello mondiale, nei filoni di ricerca sul «carbone pulito», ossia, ad esempio, su impianti di maggiore efficienza e sullo sviluppo e dimostrazione di tecnologie di abbattimento degli inquinanti e di cattura e sequestro della CO₂.

Ci si occupa qui di un impianto pilota di tipo IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*), progettato presso ERSE [1], da circa 70 MWe, per la produzione flessibile di energia elettrica e idrogeno, con cattura e sequestro della CO₂. Esso comprende un gassificatore che trasforma *slurry*, ossia una miscela di carbone finemente macinato ed acqua, in gas di sintesi (*syngas*), che viene inviato prima a reattori di WGS (*water-gas shift*), che convertono il CO in esso contenuto in H₂ e CO₂, poi ad un'unità di separazione della CO₂ e dell'H₂S con solvente fisico; il *syngas* così trattato può essere usato come combustibile nelle turbine a gas del ciclo combinato o essere inviato ad un'unità PSA (*Pressure Swing Adsorption*) per l'estrazione e purificazione dell'idrogeno.

L'impianto, pur basato su tecnologie disponibili, presenta delle caratteristiche innovative ed una complessità che richiedono di definirne le modalità di controllo e conduzione. È quindi utile disporre di un simulatore, in grado di rappresentarne il funzionamento sia stazionario che dinamico, in condizioni sia normali che di emergenza, e idoneo per lo studio delle manovre di esercizio, il progetto delle funzioni di regolazione ed automazione e la verifica del progetto.

Ai fini della costruzione del simulatore, sono stati realizzati modelli dinamici dei processi principali, basati su principi primi e relazioni costitutive.

Per la parte convenzionale costituita dal ciclo combinato, è stato usato l'ambiente LegoPST, software proprietario di ERSE basato sull'uso di moduli per la modellistica di processo, di automazione e di interfaccia uomo-macchina.

Il sistema PSA [2] e il processo di WGS [3] sono stati modellizzati in ambiente Matlab-Simulink, mediante S-function scritte in C++. Tali modelli sono basati principalmente su equazioni, a derivate parziali monodimensionali, di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto, e su una descrizione microscopica, con equazioni differenziali ordinarie, dei meccanismi cinetici di adsorbimento e desorbimento dei gas nel mezzo poroso interno ai dispositivi.

Il modello di WGS, in particolare, è stato validato (Figura 1) in condizioni stazionarie, a partire da dati sperimentali relativi ad un reattore in scala di laboratorio.

Per quanto riguarda i problemi di controllo per un'unità PSA, costituita da quattro reattori A, B, C e D, coordinati fra loro, e dai relativi sistemi di tubazioni, collettori e valvole con i loro attuatori, si è studiata l'automazione necessaria per determinare, anche in base alla purezza desiderata per l'idrogeno in uscita, le tempistiche di commutazione adeguate tra le fasi di funzionamento di ciascun reattore: adsorbimento delle impurità ad alta pressione, per ottenere in uscita l' H_2 ; depressurizzazione equicorrente, per estrarre anche l' H_2 intrappolato nel materiale adsorbente; depressurizzazione controcorrente, per far espellere le impurità; *purging* con un flusso di idrogeno a bassa pressione, per rigenerare il singolo letto; infine, ripressurizzazione. Come esempio, la Figura 2 mostra l'andamento ciclico nel tempo delle pressioni al centro dei reattori.

È stato poi implementato, sempre in ambiente Matlab-Simulink, un modello per il gassificatore a letto trascinato [4], in cui i fenomeni considerati sono l'essiccamento dello *slurry* e l'emissione dallo stesso delle materie volatili, le principali reazioni – combustione del *char* così ottenuto e dei volatili emessi, gassificazione del *char*, riduzione della CO_2 con *char* a CO, WGS – ed il *cooling* del *syngas* così ottenuto.

Con riferimento allo schema semplificato di impianto di Figura 3a, si è considerato il problema del controllo coordinato (Figura 3b: occorre mantenere costante la pressione p_2 e, se necessario, la pressione p_1 , agendo sulle portate di *slurry* e di ossigeno in ingresso al gassificatore e sulla portata di *syngas* in ingresso alla zona di trattamento (ii). La regolazione della temperatura T_g del gassificatore avviene agendo sulla portata di ossigeno. L'efficacia delle regolazioni appare, ad esempio, dalla Figura 3. (c), che mostra gli andamenti di alcune variabili a seguito di un gradino positivo del 10% sull'apertura della valvola v_3 di turbina.

Le attività del gruppo di lavoro proseguono con la modellazione dei sistemi di separazione dell' H_2S e della CO_2 e degli altri sistemi minori (scambiatori, *scrubber*). Seguiranno l'integrazione di questi modelli con

quelli sopra citati e la messa a punto del simulatore. Sarà quindi eseguita l'analisi delle strategie e dei problemi di esercizio e controllo dell'impianto, tra cui la gestione dell'inserimento/disinserimento dei PSA e del sistema di stoccaggio dell' H_2 nei transitori legati alle variazioni di carico del ciclo combinato e/o della produzione di idrogeno.

Riconoscimenti

Questo lavoro è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico nell'ambito dell'Accordo di Programma tra CESI RICERCA ed il Ministero dello Sviluppo Economico-D.G.E.R.M. stipulato in data 21 giugno 2007 in ottemperanza del DL n. 73, 18 giugno 2007. La ricerca è stata anche supportata dal progetto PRIN «Tecniche innovative per l'identificazione e il controllo adattativo di sistemi industriali» e in parte da CNR-IEIIT.

Riferimenti bibliografici

- V. Fantini, L. Mazzocchi, F. Moia, V. Prandoni, P. Savoldelli (2007). Pre-feasibility Study of a Flexible Hydrogen-Electricity Co-production IGCC Coal-fed Plant with CO_2 Capture and Sequestration. *Third International Conference on Clean Coal Technologies for our Future (CCT) 2007*, Cagliari, Italia.
- S. Canevese, A. De Marco, D. Murrai, V. Prandoni (2007). Modelling and control of a PSA reactor for hydrogen purification, *ICPS'07 (1st IFAC Workshop on Convergence of Information Technologies and Control Methods with Power Plants and Power Systems)*, Cluj-Napoca, Romania.
- S. Bittanti, S. Canevese, A. De Marco, V. Prandoni, D. Serrau (2008). Towards clean-coal control technologies: modelling conversion of carbon oxide into hydrogen by a shift reactor, *17th IFAC World Congress*, Seul, Corea del Sud.
- S. Bittanti, L. Calloni, S. Canevese, A. De Marco, V. Prandoni (2009). A Clean-Coal Control Technology Application Study: Modelling and Control Issues for a Coal Gasifier. Accettato ad *ADCHEM 2009 (International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes)*, Istanbul, Turchia.

Figura 1. Validazione del modello di reattore di *shift* con dati stazionari di laboratorio (impianto sperimentale presso il Laboratorio Celle a Combustibile - ERSE).

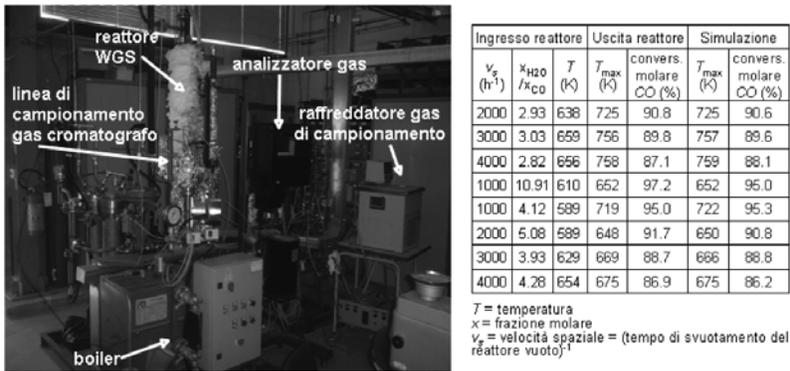


Figura 2. Funzionamento ciclico di un'unità PSA a quattro reattori: pressioni al centro dei reattori.

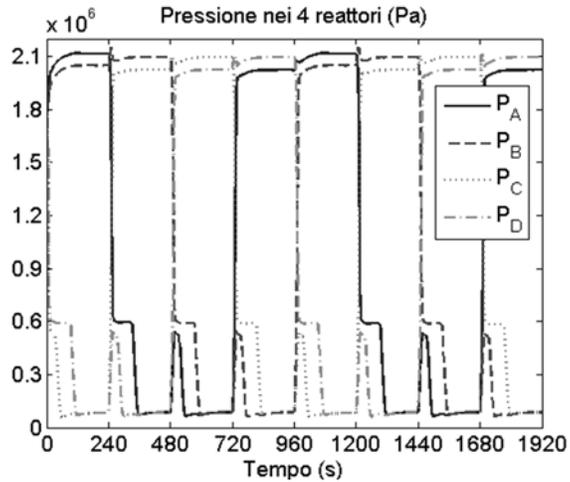
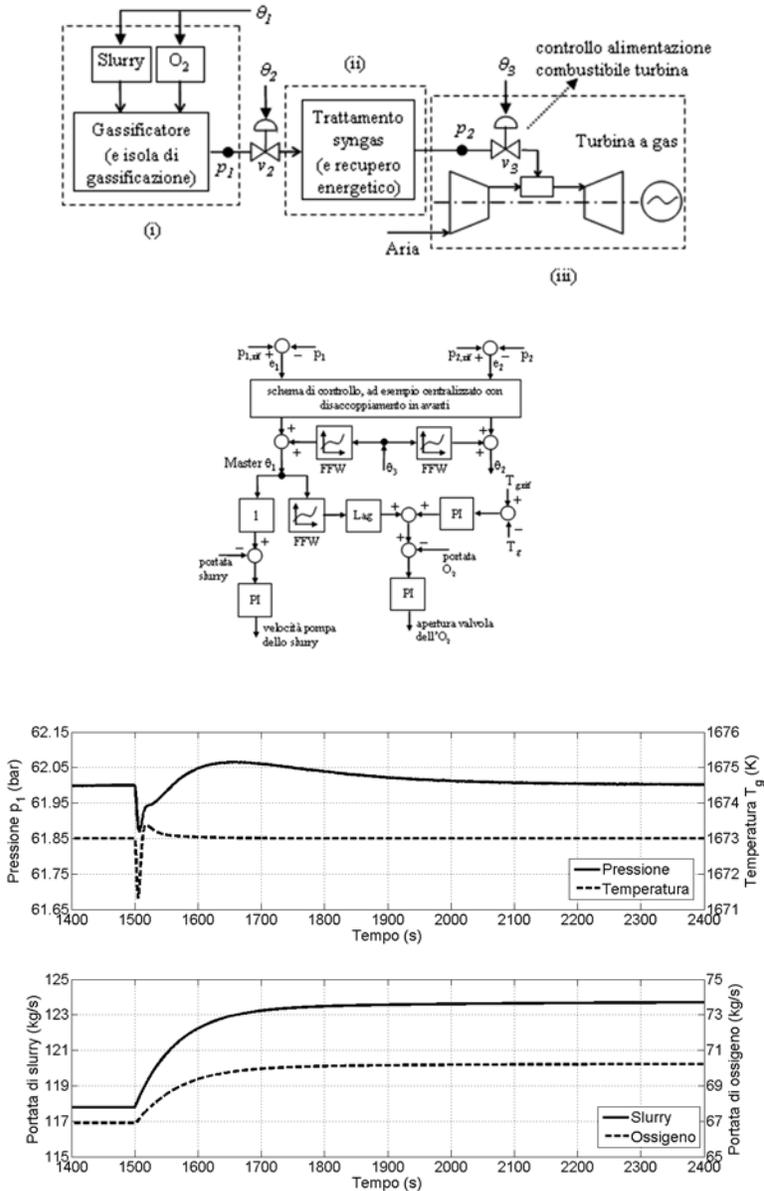


Figura 3. (a) Schema di impianto di gassificazione. θ indica il segnale di comando di un attuatore. (b) Schema di controllo coordinato proposto. Il pedice *rif* indica un segnale di riferimento; FFW indica un'azione di *feed-forward*. (c) Risposte ad uno scalino positivo dell'apertura della valvola di turbina.



ANALISI ELETTROMAGNETICA ED OTTIMIZZAZIONE DI HORN QUADRATI MULTIMODALI PER UTILIZZO IN LENTI DISCRETE

Elson Agastra

Abstract. By properly exciting higher order modes at an aperture it is possible to achieve higher aperture efficiencies. High efficiency antennas are mandatory in many applications, as discrete lenses, since the single element efficiency deeply affects the efficiency of the whole lens. In this contribution a genetic algorithm is applied to the mode matching analysis of square horns to achieve high radiation efficiency over a relatively wide band.

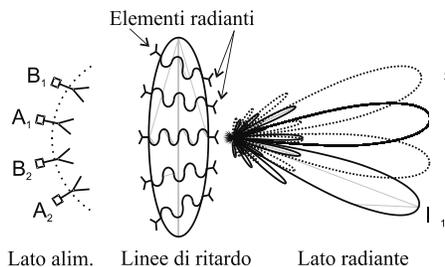
Keywords. Mode Matching, Horn, Genetic Algorithm, High Efficiency Aperture Antenna

Introduzione

In molte applicazioni si richiedono sistemi radianti che presentino la massima efficienza di apertura, sia per ridurre le loro dimensioni fisiche sia per migliorarne l'efficienza energetica. Questo fenomeno è particolarmente sentito nelle applicazioni spaziali, dove il peso e l'ingombro del sistema radiante si riflette sui costi e sulle difficoltà progettuali.

Una soluzione all'avanguardia per tali applicazioni è quella delle lenti discrete. La presente tesi rientra proprio in quest'ambito¹ e si concentra sui singoli elementi radianti che compongono le due schiere della lente come in Fig. 1.

Figura 1. Disegno di un antenna a lente discreta.



¹ Finanziato dall'agenzia Spaziale Europea, contratto ESA:AO/1-5212/06/NL/GLC.

Come elementi radianti sono state considerate le antenne a tromba (*horn*) visto che la loro applicazione nei sistemi spaziali è ormai consolidata [2].

Per ottenere la massima efficienza della lente, ogni singolo elemento deve essere il più efficiente possibile. Questo permette di ridurre il numero di elementi adoperati a parità di area efficace complessiva del sistema radiante.

Impostazione del problema

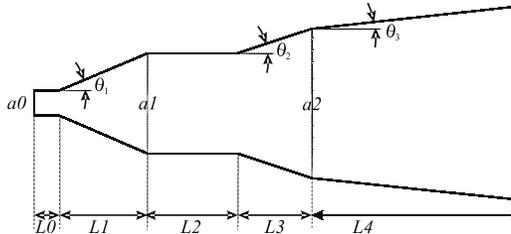
Si dimostra che per ottenere la massima efficienza radiante di horn nella direzione $q = 0^\circ$, il campo elettrico all'apertura dell'horn stesso deve essere uniforme in modulo, fase e polarizzazione.

$$\left| V_{10}^{\text{TE}} \right| : \left| V_{30}^{\text{TE}} \right| : \left| V_{50}^{\text{TE}} \right| : = 1 : \frac{1}{3} : \frac{1}{5} :$$

Per ottenere tale andamento in un horn a sezione quadrata si dimostra che sono necessari solamente i modi TE_{m0} di indice m dispari con un rapporto di ampiezze pari a $1/m$ come nella .

La struttura di Fig. 2, variando opportunamente l'angolo di inclinazione delle pareti nelle tre sezioni, permette di controllare il rapporto delle ampiezze dei modi sull'apertura.

Figura 2. Profilo dell'horn.



La mutua distanza tra le sezioni permette di controllare l'andamento in fase.

Per l'analisi elettromagnetica della struttura in Fig. 2 è stato usato un efficiente codice proprietario che implementa la tecnica del *Mode Matching (MM)*.

L'ottimizzazione è stato fatto con tecniche stocastiche, visto che con la presente struttura il numero di variabili (dimensioni trasverse e longitudinali) è minore del numero di fenomeni da controllare (ampiezza e fase dei modi). Con le presenti osservazioni si è scelto come algoritmo di ottimizzazione quello genetico (GA) [3].

Risultati

Per validare la trattazione teorica e confrontare i risultati con la letteratura, si sono considerate due strutture di aperture rispettivamente $3l'3l$ e $4l'4l$. I risultati ottenuti confrontati con quelli in [1] che presenta una struttura simile, sono visibili in Fig. 3 e Fig. 4.

Figura 3. Efficienza d'apertura e S_{11} : (a) Struttura sotto esame, (b) Bhattacharyya [1].

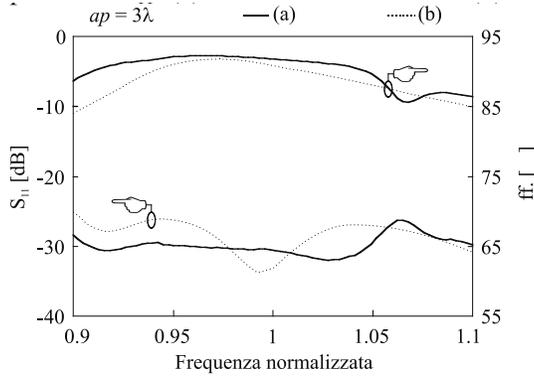
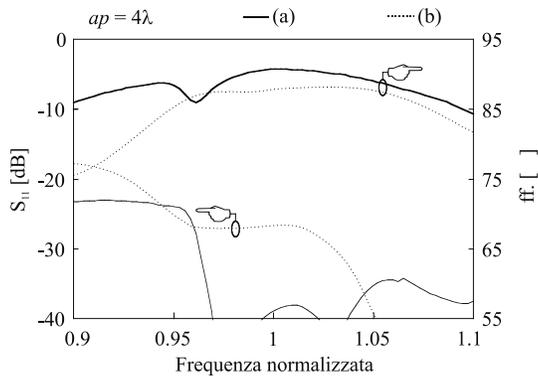


Figura 4. Efficienza d'apertura e S_{11} : (a) Struttura sotto esame, (b) Bhattacharyya [1].

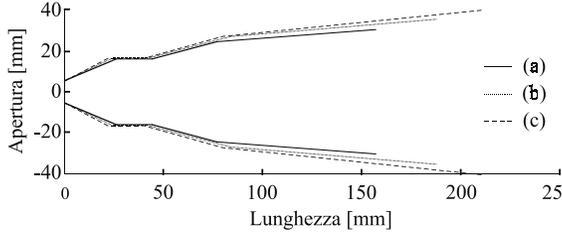


I risultati ottenuti sono mediamente migliori di quelli attualmente presenti in letteratura. La struttura con apertura $3l'3l$ presenta un'efficienza migliore dell'85% su tutta la banda con un picco di 92.24% rispetto al teorico di 93%. Il coefficiente di riflessione risulta su tutta la banda minore di -26dB.

Ai fini del progetto sono state considerate tre strutture di aperture rispettivamente $60 \times 60 \text{mm}^2$, $70 \times 70 \text{mm}^2$ e $80 \times 80 \text{mm}^2$ con frequenza centrale 18.75GHz.

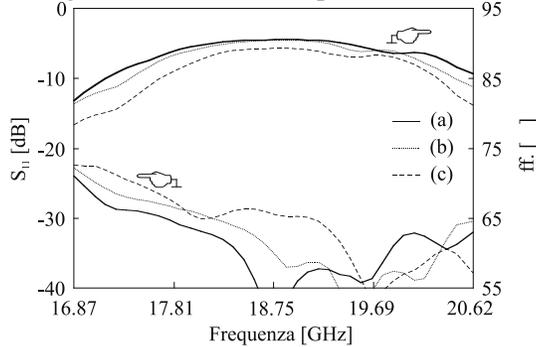
Il processo di ottimizzazione (MM - GA) porta alle strutture il cui profilo è graficato in Fig. 5

Figura 5. Profilo longitudinale dell'horn; (a) 60x60mm² (b) 70x70mm², (c) 80x80mm².



In fine in Fig. 6 sono riassunte le prestazioni ottenute.

Figura 6. Efficienza d'apertura e S_{11} ; (a) 60x60mm² (b) 70x70mm² (c) 80x80mm².



Conclusioni

Lo studio che è stato effettuato ha consentito di raggiungere gli obiettivi preposti realizzando strutture radianti che presentino mediamente un'efficienza d'apertura in banda attorno al 90%.

Come sviluppo futuro si può pensare di introdurre un'altra sezione tale da controllare i modi superiori e specialmente il TE_{70} .

Riferimenti bibliografici

- A. Bhattacharyya, G. Goyette (2004). A Novel Horn Radiator With High Aperture Efficiency and Low Cross-Polarization and Applications in

- Arrays and Multibeam Reflector Antennas, *IEEE Trans. on Antennas and prop.*, Vol. 52(11), pp. 2850-2859
- L. Lucci, R. Nesti, G. Pelosi, S. Selleri (2005). Horns. *The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, [Ed.] John Wiley & Sons, (New York, NY, USA), Vol. 1, pp. 833-849
- L. Lucci, R. Nesti, G. Pelosi, S. Selleri (2004). Phase Centre Optimization in Profiled Corrugated Circular Horns with Parallel Genetic Algorithms. *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 46, pp. 127-142

MONITORAGGIO DEI BENI CULTURALI CON LE TECNOLOGIE DELLE WIRELESS SENSOR NETWORK

Luca Bencini

Lo stato di conservazione dei Beni Culturali dipende in gran parte da parametri microclimatici che possono causare variazioni di dimensione e forma, reazioni chimiche dannose e proliferazione di microrganismi. Nasce così l'esigenza di poter disporre di impianti di monitoraggio in grado di fornire, in tempo reale, informazioni sulle variazioni di tali parametri.

Negli ultimi anni le notevoli capacità di integrazione dei componenti raggiunte dall'industria elettronica ed i vantaggi introdotti dalla tecnologia wireless hanno dato vita a sistemi di rilevazione e di misura distribuiti, noti con il nome di reti wireless di sensori (Wireless Sensor Network). Le innovazioni elettroniche infatti hanno permesso di realizzare dispositivi sempre più piccoli contenenti sensori fisici, unità per l'elaborazione e per lo scambio di informazioni; la tecnologia wireless viceversa ha consentito di implementare reti sempre più dinamiche e scalabili, capaci di svolgere autonomamente attività di riconfigurazione, quali la sincronizzazione e la localizzazione.

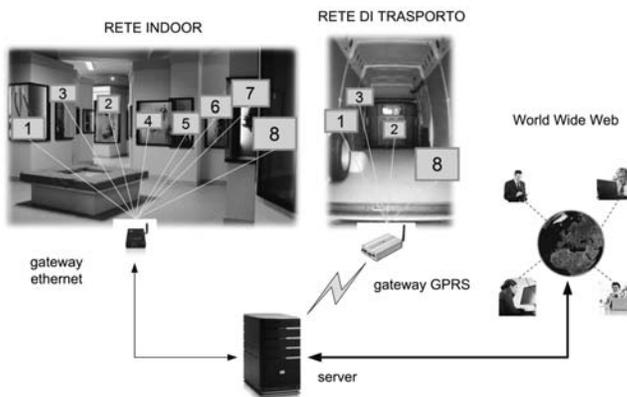
È grazie a queste caratteristiche che le Wireless Sensor Network stanno attirando l'attenzione di molte compagnie, che operano in una vasta gamma di settori industriali, verso la realizzazione a bassi costi e consumi di sistemi distribuiti di monitoraggio e di controllo. La realizzazione di tali reti, tuttavia, richiede molta accortezza dal momento che i requisiti di sistema risultano spesso essere molto vincolanti e talvolta anche in contrasto fra loro. La progettazione quindi deve essere organizzata ad un livello di astrazione molto elevato in cui è necessario un lavoro di esplorazione di tutte le risorse, sia lato hardware, che lato software, per ottenere un sistema che soddisfi le specifiche di elaborazione sotto vincoli prestabiliti: basso consumo di potenza, robustezza del sistema, flessibilità, affidabilità e facile riconfigurazione della rete.

Uno degli scenari applicativi delle Wireless Sensor Network, diventato oggetto di attenzione e di recenti studi, è quello del monitoraggio dei Beni Culturali. Lo stato di conservazione delle opere d'arte dipende in gran parte dalla variazione di parametri microclimatici quali temperatura, umidità, luce e gas. Nasce così l'esigenza di disporre di impianti

di monitoraggio in grado di fornire in tempo reale informazioni sulla variazione di tali parametri.

È proprio in questo ambito che si colloca il progetto CREA (CREA-zione di competenze sui sistemi integrati di detection), nato dalla collaborazione tra il Consorzio M.I.D.R.A.² e l'Istituto S.I.T.I.³, che si propone la realizzazione di un sistema per il monitoraggio di opere d'arte ed in particolare la progettazione e l'implementazione di due reti wireless di sensori, rispettivamente per ambienti *indoor* e di trasporto, con topologia a stella, composte da un *gateway* e massimo 8 nodi-sensore (Figura 1).

Figura 1. Architettura del sistema.



Il nodo-sensore ha il compito di inviare al proprio *gateway* le informazioni prelevate dall'ambiente circostante utilizzando un protocollo di segnalazione e scambio dati progettato *ad hoc* per l'applicazione e sviluppato all'interno di moduli *CC2430* della *Texas Instruments* per poter sfruttare le caratteristiche della tecnologia *IEEE 802.15.4* (Tabella 1).

Tabella 1. Caratteristiche della tecnologia *IEEE 802.15.4*.

Livello Fisico	
Modulazione	DSSS - OQPSK
Frequenza	2,45 GHz
Velocità di trasmissione	250 Kbps
Livello MAC	
Protocollo di accesso al canale	CSMA-CA

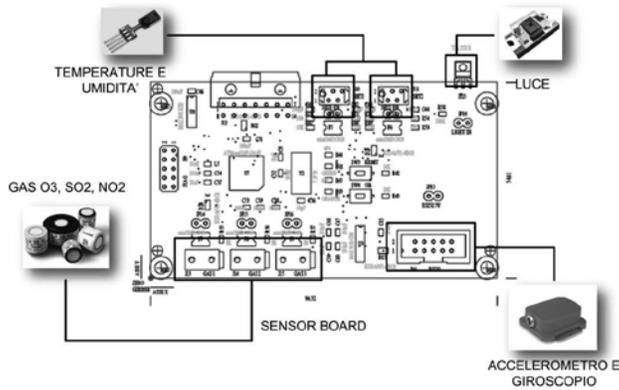
² Multidisciplinary Institute for Development Research and Application (<<http://www.unifi.it/midra/>>).

³ Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione (<<http://www.siti.polito.it/>>).

Al fine di permettere una maggiore flessibilità nella collocazione dei nodi e di evitare limitazioni sulla tipologia e sulla lunghezza dei cablaggi, l'unità sensore (*SENSOR BOARD*), che si occupa dell'acquisizione dei dati, è separata fisicamente dalla scheda di alimentazione e dal modulo a RF (*MAIN BOARD*).

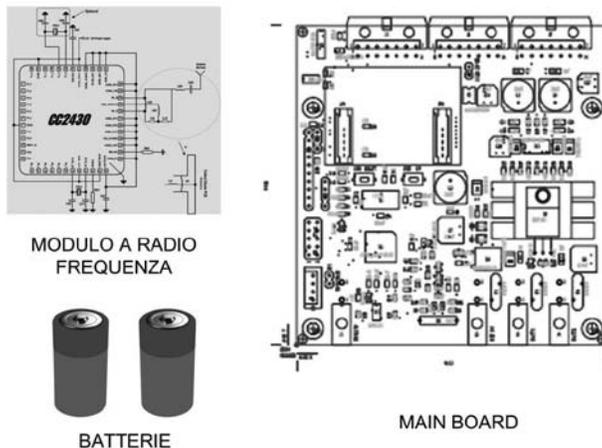
La *SENSOR BOARD* permette di gestire e di supportare fino a due sensori di temperatura-umidità, un sensore di luminosità, tre sensori di gas (O₂, NO₂, SO₂) ed un accelerometro-giroscopio (Figura 2).

Figura 2. *SENSOR BOARD*.



La *MAIN BOARD* invece si occupa di gestire il protocollo di comunicazione e l'algoritmo di carica e scarica delle batterie (Figura 3). Entrambe le unità comunicano attraverso un *bus RS422*.

Figura 3. *MAIN BOARD*.



La presenza di batterie ricaricabili permette la continuità del servizio in caso di assenza di rete elettrica nel sito d'installazione.

I *gateway* sono stati progettati per inoltrare le misure rese disponibili dalla rete wireless di sensori ad un *server* remoto. Dovendo collegare quindi due reti eterogenee sono dotati di una duplice interfaccia di comunicazione: una radio a 2.45 GHz verso la Wireless Sensor Network ed una Ethernet o GPRS verso il *server*, rispettivamente nel caso di rete *indoor* e di trasporto.

Il *server* ha il compito di memorizzare i dati in un *database* e di fornire all'utente finale, tramite un'applicazione *web oriented*, la possibilità di monitorare da remoto la Wireless Sensor Network. In particolare l'utente può:

- visualizzare i dati in formato grezzo ed aggregato sottoforma di grafici;
- visualizzare quali tipologie di sensore sono presenti in uno specifico nodo;
- abilitare e disabilitare i sensori presenti sui nodi;
- variare le frequenze di campionamento e le soglie dei sensori presenti sui nodi;
- verificare il livello di batteria dei nodi;
- verificare la funzionalità complessiva della rete e di ogni singolo elemento.

I risultati di alcuni test effettuati in ambiente *indoor* e durante il trasporto di opere d'arte tramite autoarticolati hanno dimostrato la stabilità e l'affidabilità del sistema per la bassissima percentuale di dati persi e per la durata dei nodi in assenza di rete elettrica.

SENSORI DISTRIBUITI IN FIBRA OTTICA PER MISURE SIMULTANEE DI TEMPERATURA E DEFORMAZIONE

Gabriele Bolognini

In questa memoria è riportato lo studio sperimentale effettuato presso i laboratori della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, di uno schema di sensore distribuito in fibra ottica di temperatura e deformazione, con rivelazione coerente e codifica di impulso, che permettono di raggiungere, a parità di accuratezza, un miglioramento di 7.5 dB nella distanza di rilevamento.

Introduzione e teoria

I sensori distribuiti in fibra ottica riscuotono recentemente un'attenzione crescente sia nel mondo accademico che nel settore tecnologico-industriale [1], grazie alla loro vasta gamma di applicazioni. In tali sensori, capaci di rivelare ad esempio temperatura e deformazione della fibra su lunghe distanze, la fibra ottica costituisce sia il canale di trasmissione dell'informazione rilevata sia il mezzo stesso di *sensing*. Tali sensori possono essere efficacemente impiegati in settori che vanno dal monitoraggio ambientale o strutturale ai sistemi anti-incendio ed alla sicurezza, grazie soprattutto alle caratteristiche peculiari di tali sensori, che consentono infatti misure distribuite in ogni punto la lunghezza della fibra. I sensori distribuiti sfruttano usualmente effetti non-lineari di diffusione in fibra, quali l'effetto Raman o Brillouin, all'interno di set-up di misura in fibra ottica basati su misure come la riflettometria nel dominio del tempo (OTDR), consentendo il rilevamento di temperatura e deformazione. In particolare, i sensori basati su effetto Raman sono sensibili solamente alla temperatura, mentre i sensori basati su effetto Brillouin sono sensibili sia alla temperatura che alla deformazione della fibra. Questi ultimi possono utilizzare l'effetto Brillouin spontaneo (SpBS), offrendo una implementazione più semplificata rispetto ad altre tipologie di sensori, e richiedendo l'accesso ad un solo estremo della fibra. Per distinguere la temperatura dalla deformazione all'interno della stessa fibra ottica, i sensori basati su SpBS richiedono la misura simul-

tanea sia dell'intensità della radiazione Brillouin retro-diffusa, sia dello spostamento in frequenza (BFS) della stessa, che possono utilmente essere misurati mediante schemi di rivelazione coerente [2]. Per tali schemi, la principale limitazione proviene da effetti di rumore sulla misura di intensità [3], che potrebbero quindi essere fortemente ridotti dall'utilizzo di codifica di impulso, come sarà mostrato di seguito, ottenendo un significativo miglioramento nella misura di temperatura (T) e deformazione (ϵ). Negli schemi basati su Brillouin spontaneo sia il BFS che l'intensità Brillouin retro-diffusa in ciascun punto della fibra dipendono linearmente da T ed ϵ in quel punto. Le modifiche nella temperatura (ΔT) e nella deformazione ($\Delta \epsilon$) della fibra inducono delle variazioni lineari nelle tracce OTDR ricevute dei parametri BFS (Δn_B) e potenza SpBS (ΔP_B) (normalizzata con la potenza retro-diffusa Rayleigh). Tale equazione, insieme alle espressioni per il rumore *rms* su ΔT ed $\Delta \epsilon$ dovuto a imprecisioni di misura su Δn_B e ΔP_B , può essere scritta come:

$$\begin{aligned} \begin{matrix} v_B \\ P_B \end{matrix} &= \begin{matrix} C_{v_B \epsilon} & C_{v_B T} \\ C_{P_B \epsilon} & C_{P_B T} \end{matrix} \begin{matrix} \epsilon \\ T \end{matrix} \\ \delta \epsilon &= \frac{\left| C_{P_B T} \delta v_B + C_{v_B T} \delta P_B \right|}{\left| C_{v_B \epsilon} C_{P_B T} - C_{P_B \epsilon} C_{v_B T} \right|} & \delta T &= \frac{\left| C_{P_B \epsilon} \delta v_B + C_{v_B \epsilon} \delta P_B \right|}{\left| C_{v_B \epsilon} C_{P_B T} - C_{P_B \epsilon} C_{v_B T} \right|} \end{aligned}$$

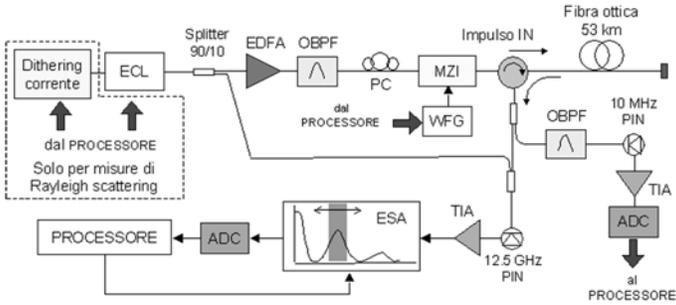
dove $C_{n_B \epsilon}$, $C_{n_B T}$, $C_{P_B \epsilon}$ e $C_{P_B T}$ sono i coefficienti di temperatura e deformazione per i parametri BFS ed intensità di SpBS [4].

È stato recentemente dimostrato [5] che tecniche di codifica di impulso, ed in particolare la codifica Simplex, possono essere efficacemente impiegate nei sensori di temperatura basati su Brillouin o Raman con rilevazione diretta dell'intensità, fornendo un notevole benefici nella risoluzione in temperatura grazie al miglioramento nel rapporto segnale-rumore (SNR) rispetto ai tradizionali sistemi a singolo impulso. Tale miglioramento può essere quantificato in termini di guadagno di codifica, che nel caso di codifica Simplex può essere espresso da $G_{COD} = (L+1)/(2\sqrt{L})$ dipendente dalla lunghezza della parola di codice L . Inoltre, negli schemi a rivelazione coerente, il segnale ottico di SpBS è miscelato con un oscillatore locale ottico (OLO) contestualmente alla foto-ricezione, consentendo sensibilità e *range* dinamico maggiori rispetto alla rivelazione diretta

Set-up e risultati sperimentali

In Figura 1 è mostrato il set-up, che comprende un ricevitore auto-eterodina, che consente una misura simultanea dell'intensità di SpBS e misure di BFS.

Figura 1. *Set-up* sperimentale del sensore di temperatura e deformazione basato su rivelazione coerente.

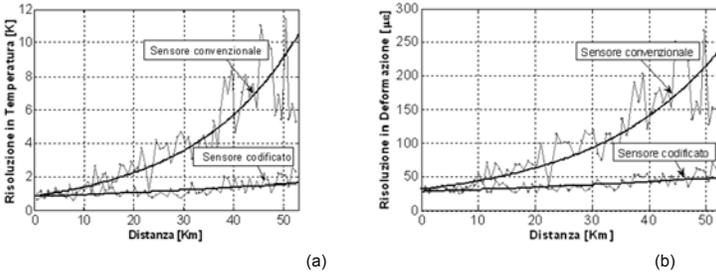


La radiazione da un laser a cavità esterna, operante a 1555.0 nm, è separato in due parti; una parte è utilizzata come OLO al ricevitore, e la seconda parte è modulata, mediante un modulatore Mach-Zehnder (MZI) controllato da un generatore di forma d'onda (WFG) per modulare in ampiezza il laser, con singoli impulsi ottici e con impulsi codificati mediante codifica Simplex (a 127 bit). La fibra sensibile consiste in 53 km di di fibra a dispersione spostata (DSF). Al ricevitore, una piccola porzione di potenza è separata e convogliata su di un OBPF, un successivo fotodiodo PIN ed un TIA, al fine di misurare la componente Rayleigh necessaria per il calcolo della potenza SpBS normalizzata. Il segnale di Brillouin è quindi miscelato con l' OLO, e quindi foto-rivelato con un fotodiodo PIN seguito da un TIA (banda 12.5 GHz). Lo spettro di battimento OLO-SpBS (a 11 GHz) è acquisito usando un analizzatore di spettro elettrico (ESA, banda 40 GHz) operante in modalità *zero-span*. Per ricostruire lo spettro dello scattering Brillouin in maniera accurata, si effettua un'acquisizione di molteplici tracce OTDR entro la banda di guadagno Brillouin.

Si noti che l'impiego dei codici in sensori a rilevazione coerente fornisce migliore accuratezza anche nella misura di BFS (dn_B dipende infatti dal SNR in base alla relazione: $dn_B = Dn_B / (4 \cdot SNR)^{1/4}$, dove Dn_B rappresenta la larghezza di riga Brillouin). Tali caratteristiche possono essere utilmente sfruttate per migliorare l'accuratezza nel sensing simultaneo di deformazione e temperatura basato su misura di BFS e di potenza di SpBS. Le risoluzioni in deformazione e temperatura sono state ottenute utilizzando le equazioni scritte sopra e calcolando l'rms del BFS e della potenza di SpBS. Le Figg. 2a and 2b confrontano i valori di risoluzione ottenuti sperimentalmente con singolo impulso e con codici Simplex a 127 bit misurando simultaneamente le due grandezze fisiche. In caso di singolo impulso si ottiene una risoluzione in DT di 10 K a 53 km, ridotta a 1.6 K qualora si utilizzino codici Simplex a 127 bit. In Fig. 2b si può chiaramente notare il miglioramento di SNR fornito dai codici, che

consente di ridurre la risoluzione in deformazione da 250 μm a 50 μm all'uscita della fibra (53 km). Le tecniche di codifica risultano specialmente efficaci quando utilizzate con rilevazione coerente. Difatti in Fig. 2b possiamo osservare che la stessa risoluzione di 1.7 K è ottenuta a 14.5 km in caso di sensore convenzionale, e a 53 km in caso di uso di codifica, che aumenta quindi la distanza di sensing di ~ 38.5 km (~ 7.5 dB).

Figura 2. Risoluzione (a) in temperatura e (b) in deformazione in funzione della distanza, per un sensore basato su Brillouin a singoli impulsi (convenzionale) e impulso codificato.



In conclusione, l'impiego di tecniche di codifica in sensori ibridi di temperatura e deformazione basati su scattering Brillouin spontaneo consente un significativo miglioramento delle rispettive risoluzioni qualora si utilizzino tecniche di rilevazione coerenti, permettendo una estensione delle distanze di sensing a parità di risoluzioni in temperatura e deformazione.

Riferimenti bibliografici

- [1] AA.VV (2008). Optical-fibre Sensors. *Nature Photonics*, Tech. Focus, vol. 2, n. 3, pp. 143-158.
- [2] S.M. Maughan *et al.* (2001). Simultaneous distributed fibre temperature and strain sensor using microwave coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter. *Meas. Sci. Technol.*, vol. 12, pp. 834-842.
- [3] P. Wait *et al.* (1996). Landau-Placzek ratio applied to distributed fibre sensing. *Opt. Comm.*, vol. 122, pp. 141-6.
- [4] W. Jin *et al.* (1997). Simultaneous measurement of strain and temperature: error analysis. *Opt. Eng.*, Vol. 36, pp. 598-609.
- [5] M. Soto *et al.* (2008). Brillouin-Based Distributed Temperature Sensor Employing Pulse Coding. *IEEE Sens. J.*, vol. 8, pp 225-6.

STUDIO DEGLI ASPETTI PROPAGATIVI SULLA SUPERFICIE DI MARTE PER APPLICAZIONI SENSORISTICHE BASATE SULLO STANDARD IEEE802.15.4 (ZIGBEE)

Renato Pucci

Il contesto applicativo

Era il 6 Febbraio 2004 quando il lander «Beagle 2» fu ufficialmente dichiarato disperso dal consiglio di amministrazione, chiudendo quindi con un fallimento la più recente missione di ESA su Marte. Sebbene Beagle 2 si fosse separato con successo dalla «nave madre» Mars Express, non fu più possibile ricevere sue notizie dal momento in cui entrò nell'orbita marziana e ad oggi si ignorano i motivi del pessimo esito della missione. Tale fallimento ha mostrato come, nell'ambito delle missioni di esplorazione planetaria, possa essere rischioso affidare l'esito di una missione spaziale ad un unico sistema centralizzato, in cui anche un piccolo guasto può compromettere l'intero esito della missione, come è stato per il Lander «Beagle2». Per questo motivo la comunità scientifica ha allargato i propri interessi verso paradigmi orientati all'utilizzo di un sistema distribuito ridondante, per cui collocando molti sensori, la missione non fallirebbe anche se alcuni di questi si dovessero guastare o perdessero la possibilità di comunicare. Nonostante rappresenti un aspetto fondamentale, la riduzione del rischio di fallimento non rappresenta l'unico vantaggio: l'utilizzo di una rete di sensori migliorerebbe infatti l'efficienza dei sistemi fino ad ora sperimentati, grazie ad una maggiore copertura dell'area esplorata e ad una acquisizione continua nel tempo dei dati raccolti. Infine una rete di sensori può raccogliere dati in maniera continua fornendo la «storia» di una certa zona, mentre il rover effettua un'acquisizione dati puntuale, dunque osservando solo un punto alla volta. Il payload del sensore permetterebbe inoltre la raccolta di vari tipi di dati, come dati visivi, composizione chimica dell'atmosfera e del terreno, temperatura, pressione atmosferica, attività sismica e presenza di campi magnetici.

La possibilità di gestire un numero di sensori così ha riscosso un notevole interesse, nell'ambito delle missioni spaziali, per sistemi di comunicazione wireless. Questo tipo di soluzione ha ottenuto negli ultimi anni un numero sempre maggiore di pareri favorevoli, alla luce della crescente

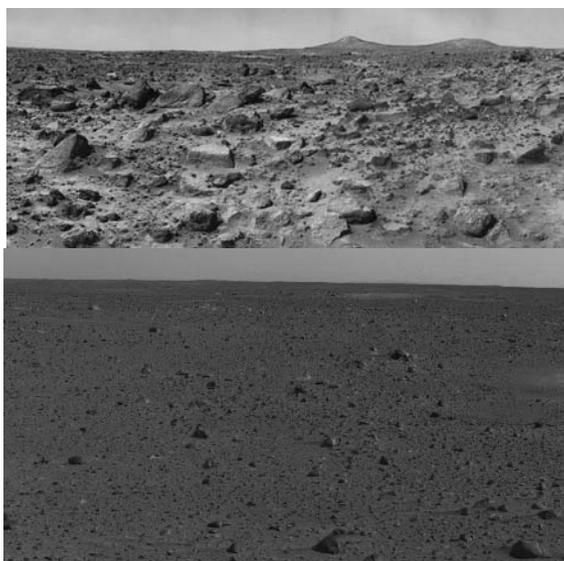
complessità dei nuovi apparati spaziali (ad esempio, un satellite di grosse dimensioni può richiedere anche più di 1000 connessioni cablate e un modulo spaziale può raggiungere le 6000) e supportato dai progressi tecnologici ottenuti nelle applicazioni commerciali terrestri; il trend commerciale riguarda infatti un ampio range di applicazioni (dall'industria, ai computer, alla domotica), che mettono a disposizione numerosi standard e dispositivi funzionanti a RF. Le politiche adottate da ESA e NASA negli ultimi anni mostrano chiaramente l'interesse di investire su tecnologie già adottate per applicazioni commerciali sulla terra: dal 2001 infatti l'ESA ha iniziato a stimare il potenziale di queste tecniche e a organizzare seminari e gruppi di lavoro coinvolgendo industrie, istituti di ricerca e università. Un interesse simile è stato mostrato negli USA, dove sono state intraprese diverse azioni sotto il coordinamento del CCSDS, allo scopo di dar vita a collaborazioni tra agenzie. Da questi meetings sono emerse alcune priorità, come quella di promuovere applicazioni di rete basate su sensori a bassa potenza, capaci di incontrare le necessità di comunicazione interne o esterne alle navi spaziali.

Il lavoro svolto è stato sviluppato presso l'azienda «Thales Alenia Space» di Torino e si inquadra all'interno del contesto finora presentato: è stato studiato un sistema wireless di scambio dati fra componenti dislocati su superficie planetaria basato su standard IEEE802.15.4 (ZigBee). Tale standard nasce infatti per dispositivi con requisiti di basso consumo di potenza, basso costo, corto raggio d'azione e dimensione molto ridotta, risultando così molto ben adattabile ad un contesto di esplorazione planetaria. Tenendo conto degli obiettivi attuali della comunità spaziale e dei dati scientifici disponibili, Marte è stato selezionato come contesto esplorativo di analisi.

Il lavoro svolto

Nella prima parte dello studio sono state analizzate le esigenze legate alle precedenti missioni su Marte; la conoscenza delle esperienze pregresse ha consentito infatti di valutare la bontà delle strategie e delle tecniche adottate nel corso degli anni. Inoltre, dall'analisi dei fallimenti delle missioni è stato possibile individuarne le cause e valutare quali potessero essere le strategie alternative. Dopo una caratterizzazione e un'analisi di tipo statistico delle superfici planetarie di Marte, l'attenzione è stata concentrata su tutte le caratteristiche fisiche, atmosferiche, eoliche e geomorfologiche che possano influire sul funzionamento e le performance di una rete di sensori a bassa potenza e con dimensioni ridotte. Sono state quindi valutate le distribuzioni statistiche di rocce e crateri presenti sul suolo marziano, individuando così gli scenari più frequenti presenti sul pianeta.

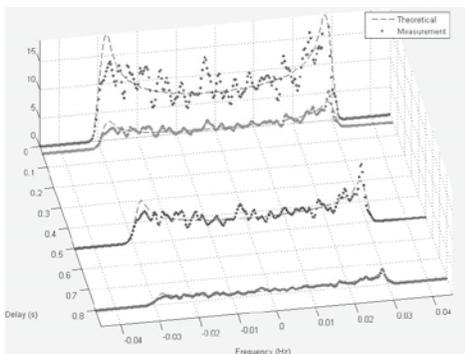
Figure 1 e 2. Confronto fra i siti d'atterraggio dei Lander NASA «Pathfinder» e «Phoenix»: appare evidente la netta distinzione in termini di densità e dimensioni delle rocce presenti.



Per poter ottenere i profili di attenuazione a radiofrequenza, è stata fatta un'ulteriore analisi degli eventi atmosferici (venti, tempeste di sabbia), e dell'atmosfera marziana (composizione gassosa, temperature, presenza di nubi). Un'attenzione particolare poi viene posta sull'analisi e la caratterizzazione delle tempeste di sabbia, in quanto esse rappresentano un fenomeno di ragguardevole importanza, considerando anche il fatto che tali tempeste sono state la causa del fallimento di più d'una missione spaziale. L'analisi e gli studi compiuti negli anni hanno evidenziato come le tempeste di sabbia marziane si verificano durante la fine della primavera e nell'estate marziane, localizzate nell'emisfero sud del pianeta, in particolare vicino al Polo Sud. Causate dall'occorrenza di moti convettivi dovuti al riscaldamento stagionale del suolo e dell'atmosfera, le tempeste di sabbia possono rimanere di dimensioni contenute e localizzate ad aree di qualche chilometro di area, oppure intensificarsi rapidamente fino ad assumere dimensioni planetarie.

Al fine di poter caratterizzare il canale in presenza di tempeste di sabbia, sono stati valutati e calcolati i valori di attenuazione che il segnale trasmesso subisce. In questo modo è stato possibile individuare due tipologie di canale, in assenza ed in presenza di tempeste di sabbia, e di tali tipologie ne sono stati individuati diversi livelli di intensità. I modelli di canale così ottenuti sono stati utilizzati per realizzare un modello di simulazione in Simulink® finalizzato a valutare quali fossero le prestazioni, in termini di probabilità di errore per bit (Bit Error Rate, BER), del sistema di trasmissione utilizzato dalla rete di sensori.

Figura 3. Funzione di scattering per canale a bassa densità di rocce affetto da multipath.

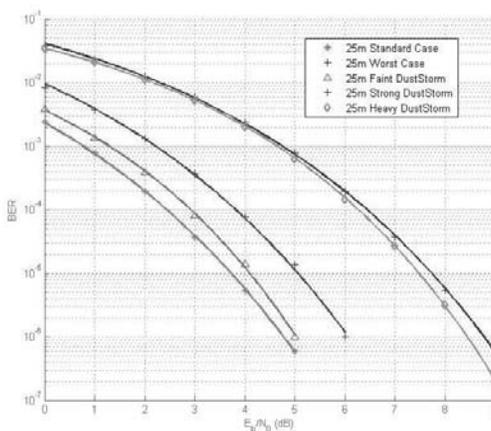


Per poter creare il modello di simulazione, parte del lavoro di tesi è stato riservata all'analisi esaustiva dello standard IEEE 802.15.4 e di ZigBee, che ne rappresenta la «naturale» prosecuzione nello stack protocollare. Lo standard infatti descrive e fissa i due livelli più bassi della pila protocollare, PHY e MAC, mentre lo stack ZigBee implementa i rimanenti livelli superiori, fino all'applicativo.

Risultati ottenuti

Per i canali sopra descritti, fissando la distanza di riferimento tra trasmettitore e ricevitore, è stato possibile confrontare le prestazioni del sistema al variare della tipologia di canale trasmissivo considerato. In base

Figura 4. Andamenti dei Bit Error Rate per canali differenti per una rete di sensori di crica 200m².



ai risultati ottenuti, è stato dimostrato che una rete di sensori basata sullo standard IEEE802.15.4 può essere utilizzata in contesti di esplorazione planetaria, nel caso specifico di Marte, anche in condizioni ambientali difficili (alta densità di ostacoli, presenza di tempeste di sabbia).

La rete risulta dunque resistente alla presenza di tempesta di sabbia per quanto riguarda le prestazioni in termini di probabilità d'errore per bit; altri aspetti di tipo «meccanico», come la possibilità di seppellimento del sensore dovuto alla sabbia e il sollevamento dovuto al vento, dovranno essere valutati durante la fase di test su campo.

Sviluppi futuri

Questo studio rappresenta dunque il punto di partenza per ulteriori approfondimenti e attività di test finalizzati a valutare la possibilità di implementare Wireless Sensor Network (WSN) nelle future missioni spaziali, anche non necessariamente in ambiente planetario. Infatti la comunità spaziale internazionale da tempo sta concentrando la sua attenzione sulla tecnologia wireless per la riduzione della massa totale degli spacecraft, fattore di notevole impatto nella valutazione dei costi legati alle missioni spaziali. L'utilizzo di dispositivi wireless inoltre risulterebbe particolarmente utile nel connettere sensori di difficile accesso, specie in test di sistema a livello integrato. I modelli sviluppati, con opportune calibrazioni, potrebbero essere facilmente estesi alle suddette applicazioni e a differenti contesti industriali. Le successive attività di test, previste per i prossimi mesi, verranno svolte in collaborazione con l'azienda «Thales Alenia Space Italia s.p.a.», prime-contractor di ESA per la futura missione «ExoMars».

APPLICAZIONE DI TECNICHE ACUSTICHE DI INVERSIONE TEMPORALE E DI DOA NELLE COMUNICAZIONI UWB

Luca De Nardis

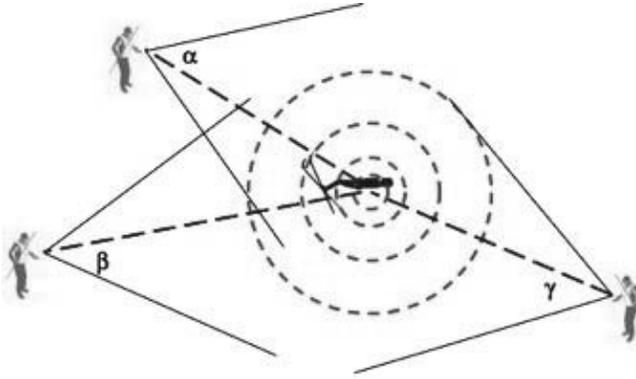
Abstract. Questo lavoro è centrato sullo sviluppo di un sistema di localizzazione di persone disperse durante operazioni di ricerca e soccorso attraverso l'utilizzo di segnali Ultra Wide Band (UWB) di tipo impulsivo combinati con tecniche innovative per l'elaborazione del segnale basate sul concetto di Inversione Temporale (Time Reversal). Il lavoro presenta un'analisi delle soluzioni esistenti per la ricerca di dispersi in ambito alpino, e discute le proprietà chiave delle tecniche UWB e Time Reversal che ne suggeriscono l'utilizzo. L'articolo propone quindi la combinazione di UWB e Time Reversal e presenta risultati preliminari che illustrano le potenzialità di tale soluzione.

I sistemi oggi esistenti per la ricerca di dispersi nel caso di slavine o valanghe non sono sempre in grado di distinguere il segnale proveniente da differenti periferiche, e nel migliore dei casi forniscono solo un'informazione sul numero di dispersi nell'area di copertura della periferica [1]. Una valutazione delle prestazioni di tali apparecchiature da parte di operatori del soccorso ha rivelato che in alcuni casi le prestazioni in presenza di più dispersi sono insoddisfacenti, e possono portare al mancato ritrovamento di uno o più dispersi [2].

La tecnica trasmissiva Ultra Wide Band (UWB) [3] è un candidato ideale nello sviluppo di nuove soluzioni, grazie all'elevata accuratezza nella stima di distanza permessa dalla banda larghissima che caratterizza i segnali UWB. Problemi analoghi sono stati affrontati in passato in un campo di ricerca che presenta numerose analogie con quello relativo a segnali UWB impulsivi: quello dei segnali di tipo acustico. L'obiettivo di questo lavoro è quello di applicare all'UWB le soluzioni proposte in campo acustico per l'identificazione di sorgenti attraverso la direzione di arrivo (Direction Of Arrival, DOA), analizzandone l'adattabilità al caso dei segnali UWB, e studiando le prestazioni di un sistema di localizzazione basato su questo approccio nello scenario applicativo mostrato in Fig. 1.

Una famiglia di algoritmi che ha mostrato risultati molto promettenti in campo acustico per applicazioni di localizzazione in mezzi non omogenei è quella basata sul concetto di Inversione Temporale o Time Reversal (TR) [4]. Il TR è una tecnica di elaborazione del segnale che permette di compensare l'effetto del mezzo nella propagazione senza dover effettuare una stima esplicita del canale, e ottiene un comportamento analogo a quello tipico di un filtro adattato (matched filter) [5].

Figura 1. Esempio di scenario applicativo. Gli angoli indicati da lettere greche rappresentano l'informazione di DOA ottenuta dalle periferiche utilizzate dai soccorritori.

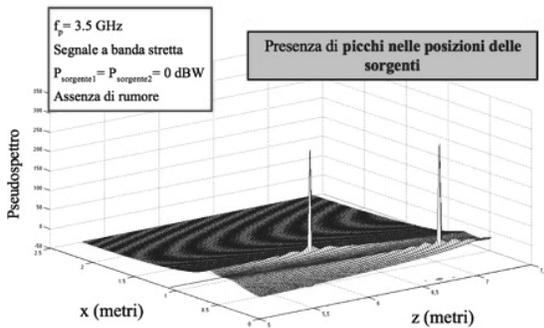


L'applicazione di tecniche TR al caso di segnali UWB è stata recentemente studiata al fine di migliorare la robustezza di un link UWB rispetto al multipath grazie all'effetto di filtraggio adattato al canale (nel tempo e nello spazio) garantito dal TR sia per sistemi ad antenna singola che multipla [6]. Un campo che ha ottenuto finora minore attenzione nella ricerca scientifica è quello dell'utilizzo di UWB in combinazione con il TR per la stima di direzione di arrivo, sebbene i risultati ottenuti finora suggeriscano che l'accuratezza ottenibile grazie all'utilizzo dell'UWB è sensibilmente superiore a quella ottenibile con altre classi di segnali [7], [8].

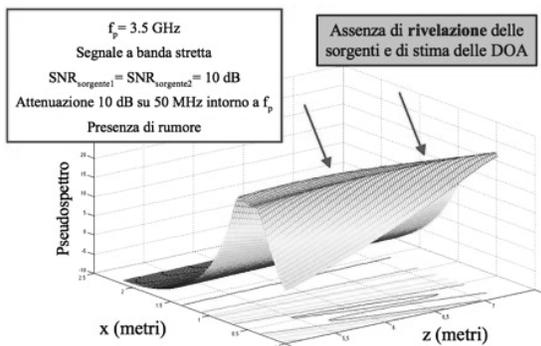
Questo lavoro studia la combinazione di UWB e TR per la stima di posizione. I risultati preliminari ottenuti combinando le due tecniche ed adottando l'algoritmo MUSIC [9] indicano che la banda del segnale UWB permette di ovviare alla presenza di picchi di attenuazione che impediscono invece il corretto funzionamento di sistemi a banda stretta, come mostrato in Figura 2.

La Figura 2a) mostra il caso ideale di stima di DOA per due sorgenti in un piano bidimensionale x - z con un segnale a banda stretta in assenza di rumore. I picchi dello pseudospettro ottenuto applicando il metodo MUSIC-TR individuano la posizione delle sorgenti con elevata precisione. In Figura 2b) è mostrato l'effetto dell'introduzione del rumore e di un'attenuazione selettiva in frequenza: la posizione e la DOA dei segnali provenienti dalle due sorgenti non sono più individuabili con precisione, data l'assenza di picchi. L'adozione di un segnale UWB con banda 500 MHz nelle stesse condizioni, mostrata in Figura 2c), permette invece l'individuazione della DOA e della posizione delle due sorgenti, grazie alla resistenza del segnale UWB all'attenuazione selettiva in frequenza.

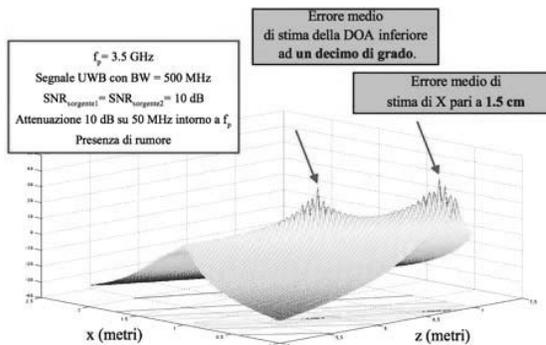
Figura 2. Effetto dell'introduzione di un segnale UWB nella stima di DOA basata su TR e MUSIC (a): segnale a banda stretta in condizioni ideali; b): segnale a banda stretta in presenza di un picco di attenuazione; c) segnale UWB in presenza dello stesso picco.



(a)



(b)



(c)

Ringraziamenti

Questo lavoro è svolto nell'ambito del progetto di Ateneo Federato della Scienza e della tecnologia dell'Università di Roma La Sapienza «Dal wireless al filo virtuale: applicazione di tecniche acustiche di inversione temporale e di DOA nelle comunicazioni UWB,» e dell'accordo bilaterale tra l'Università di Roma La Sapienza e l'Ecole Supérieure d'Electricité (Supelec) di Parigi.

Riferimenti bibliografici

[1] Ortovox m2 Safety System user manual, disponibile online all'indirizzo: <http://www.ortovox.com/media.php?mediaid=6&filename=m2.pdf>

[2] M. Lutzenberger (2006). Solo 15 minuti... Un bilancio provvisorio sulle strategie di ricerca con ARVA. *Il Soccorso Alpino*, Aprile, 12-21, <http://www.cai-svi.it/j/content/view/28/44/>

[3] M.-G. Di Benedetto and G. Giancola (2004). *Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals*, Prentice Hall PTR, 2004.

[4] M. Fink (1997). Time reversed acoustics. *Phys. Today* 50, pp. 34-40.

[5] B.E. Anderson, Michael Griffa, C. Larmat, T. J. Ulrich and P. A. Johnson (2008). Time Reversal, *Acoustics Today*, 4(1), pp. 5-16.

[6] R.C. Qiu, C. (Jim) Zhou, N. Guo, e J.Q. Zhang (2006). Time Reversal With MISO for Ultrawideband Communications: Experimental Results, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 5 (12), pp. 269-273.

[7] A. Hirata, T. Morimoto e Z. Kawasaki (2003). DOA estimation of ultra-wideband EM waves with MUSIC and interferometry, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2, pp. 190-193.

[8] J.P. Lie, B.P. Ng, C.M. See e M. Changzheng (2005). Multiple UWB emitters DoA estimation employing TH-SS. *IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 336 -339.

[9] Schmidt, R.O. (1986). Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation. *IEEE Trans. Antennas Propagation*, AP-34 (3), pp. 276-280.

SISTEMI CRITTOGRAFICI POST-QUANTICI PER LA SICUREZZA DELLE TELECOMUNICAZIONI

Marco Baldi

Abstract. La crittografia riveste un ruolo fondamentale nelle tecnologie moderne; tuttavia, molti dei più diffusi sistemi crittografici dovranno essere abbandonati dopo l'introduzione del computer quantistico, ad oggi in fase di sviluppo. È importante quindi conoscere quali dei sistemi noti possono definirsi post-quantici e quali nuove soluzioni possono migliorarne l'efficienza.

Un requisito di molti servizi di telecomunicazioni è la capacità di garantire un adeguato livello di sicurezza delle informazioni scambiate tra gli utenti. Nel caso del servizio telefonico, ad esempio, esiste la necessità di impedire l'intercettazione non autorizzata delle comunicazioni. Il traffico telefonico è stato storicamente associato a reti a commutazione di circuito, in cui si realizza la connessione tra due utenti isolandoli dagli altri. Questo produce un'intrinseca robustezza della rete contro le intercettazioni non autorizzate, tale da garantire un adeguato livello di sicurezza del servizio.

L'evoluzione delle reti numeriche a banda larga ha però portato molti servizi tradizionali, tra cui la telefonia, ad essere oggi veicolati su reti dati ad alta velocità, basate sulla commutazione di pacchetto. In esse, i dati degli utenti sono trasportati in modo promiscuo, e condividono l'uso dei tronchi della rete grazie ai moderni protocolli di instradamento. Questo aumenta l'efficienza della rete nell'uso delle risorse, ma pone importanti questioni relative alla sicurezza dei dati scambiati. In tale contesto, le tecniche crittografiche rivestono un ruolo fondamentale, perché capaci di rendere l'informazione disponibile soltanto agli utenti autorizzati.

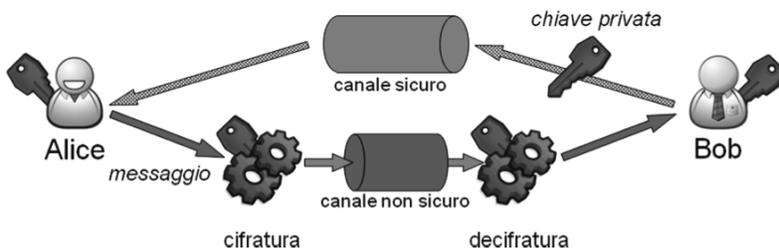
La più antica forma di crittografia nota è quella simmetrica, della quale sono esempi già il cifrario ebraico di Atbash, risalente al VI secolo a.C., ed il cifrario di Cesare, databile intorno al 58 a.C. Nella crittografia simmetrica, tutti gli utenti autorizzati condividono una chiave privata, la quale deve rimanere segreta ai non autorizzati.

Questo permette di ottenere elevati livelli di sicurezza con bassa complessità, facilitando così l'implementazione hardware e software degli algoritmi di cifratura e decifratura, oggi spesso basati su semplici registri binari a scorrimento.

Lo schema di principio della crittografia simmetrica, riportato in Fig. 1, richiede però la disponibilità di un canale sicuro per la distribuzione delle chiavi, parallelo al canale di comunicazione principale.

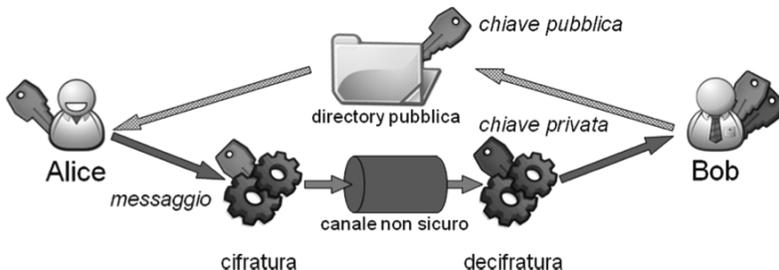
Questo rende problematica la gestione delle chiavi nei contesti in cui gli utenti risultano fisicamente dislocati, come nelle reti geografiche quali Internet.

Figura 1. Schema di principio della crittografia simmetrica.



Il principio della crittografia asimmetrica [1] ha il vantaggio di non richiedere l'esistenza di alcun canale sicuro per lo scambio delle chiavi di cifratura. In crittografia asimmetrica, infatti, la chiave usata per cifrare un messaggio è diversa da quella usata per decifrarlo, ed una soltanto delle due chiavi deve rimanere privata, mentre l'altra può essere resa pubblica. Per questo, tale approccio ha trovato vasta applicazione nelle reti geografiche quali Internet. Lo schema di principio della crittografia asimmetrica è mostrato in Fig. 2.

Figura 2. Schema di principio della crittografia asimmetrica.



Uno dei più diffusi schemi di crittografia asimmetrica è RSA [2], che sfrutta il problema della fattorizzazione in numeri primi e calcoli di potenze in aritmetica modulare per la cifratura e decifratura dei dati. La crittoanalisi di RSA ha prodotto diverse revisioni dei suoi parametri, ma nessun attacco capace di compromettere il sistema è stato finora trovato.

Tale panorama, tuttavia, sarà alterato dall'introduzione del computer quantistico, macchina capace di usare fenomeni della fisica quantistica per rappresentare l'informazione. Il computer quantistico non è ancora

disponibile, ma sono stati effettuati con successo diversi esperimenti per eseguire le prime operazioni quantistiche.

È stato dimostrato che il computer quantistico rappresenterà una minaccia per la sicurezza del sistema RSA e delle sue varianti basate sullo stesso problema teorico (come DSA e ECDSA). Pertanto, la ricerca di sistemi di crittografia asimmetrica che resistano agli attacchi basati su computer quantistici assume notevole importanza.

Ad oggi non sono noti algoritmi quantistici per risolvere il problema di decodifica, su cui si basano i sistemi crittografici derivati dalla teoria dei codici per la correzione d'errore che, pertanto, sono definiti «post-quantici».

Il sistema crittografico di McEliece è uno dei più noti sistemi post-quantici per crittografia asimmetrica, e utilizza codici correttori d'errore per la generazione delle chiavi pubbliche e private [3]. Nonostante tale sistema sia più veloce di RSA, esso non ha mai conosciuto vasta diffusione a causa di due suoi svantaggi: l'elevata dimensione della chiave pubblica e la bassa efficienza (intesa come il rapporto tra bit in chiaro e bit cifrati). Per migliorare questi due aspetti, nel tempo sono state proposte molte varianti del sistema di McEliece, basate su diverse famiglie di codici. Molte di esse, però, hanno manifestato limiti nei livelli di sicurezza conseguibili.

Recentemente, sono state proposte alcune nuove varianti del sistema di McEliece basate sui codici QC-LDPC (Quasi-Cyclic Low-Density Parity-Check) [4]. Il carattere strutturato delle loro matrici caratteristiche permette di ridurre la dimensione della chiave, mentre la loro facilità di progettazione consente di aumentare l'efficienza del sistema.

È stato dimostrato che, per tali varianti, un progetto non accurato delle chiavi può esporre il sistema a nuovi attacchi [5], che però possono essere evitati adottando opportune contromisure [6, 7]. Tale sistema rappresenta quindi una soluzione promettente per garantire anche in futuro sicurezza nelle telecomunicazioni.

Riferimenti bibliografici

- [1] W. Diffie, M. Hellman (1976). New directions in cryptography. *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 22, pp. 644–654, Nov.
- [2] R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman (1978). A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems. *Communications of the ACM*, vol. 21, no. 2, pp. 120–126.
- [3] R.J. McEliece (1978). A public-key cryptosystem based on algebraic coding theory. *DSN Progress Report*, pp. 114–116.
- [4] M. Baldi (2006). Quasi-cyclic low-density parity-check codes and their application to cryptography. Tesi di Dottorato, Università Politecnica delle Marche, Nov.

- [5] A. Otmami, J.P. Tillich, L. Dallot (2008). Cryptanalysis of two McEliece cryptosystems based on quasi cyclic codes. *Proc. SCC 2008*, Beijing, China, Apr.
- [6] M. Baldi, M. Bodrato, F. Chiaraluce (2008). A new analysis of the McEliece cryptosystem based on QC-LDPC codes. *Security and Cryptography for Networks*, vol. 5229 of LNCS, pp. 246–262, Springer.
- [7] M. Baldi (2008). LDPC Codes in the McEliece Cryptosystem: attacks and countermeasures. *Proc. NATO Advanced Research Workshop 2008*, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 6–9 Ott.

NOTIZIE SUGLI AUTORI

LEONARDO LUCCI, GIUSEPPE PELOSI

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze
(leonardo.lucci, giuseppe.pelosi)[@unifi.it](mailto:)

LEONARDO CALANDRINO

Università di Bologna, Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna

ROMANO FANTACCI

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze
romano.fantacci[@unifi.it](mailto:)

ANDREA TANI

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze

LORENZO CIANI

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze
lorenzo.ciani[@unifi.it](mailto:)

DANIELE DOMENICALI

Università di Roma La Sapienza, dome[@newyork.ing.uniroma1.it](mailto:)

SILVIA CANEVESE

Dipartimento di Sistemi di Generazione, ERSE S.p.A. (già CESI RICERCA S.p.A.)

ELSON AGASTRA

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze
elson.agastra[@unifi.it](mailto:)

LUCA BENCINI

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze

GABRIELE BOLOGNINI
Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa - CNIT

RENATO PUCCI
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Università di Firenze
- CNIT - Thales Alenia Space Italia
renato.pucci@unifi.it

LUCA DE NARDIS
Dipartimento INFO-COM, Università di Roma «La Sapienza»

MARCO BALDI
Università Politecnica delle Marche

PRISMA S.p.A.
Via Marziale, n 13
04023 Formia (LT)