

C U R R I C U L U M

di

Sergio Frasca

nato ad Avellino il 16 Febbraio 1949

ATTIVITÀ DI RICERCA

(le sigle in neretto fanno riferimento alle liste
dei lavori e dei seminari e comunicazioni)

- presso l'Università di Pisa - Istituto di Scienze dell'Informazione

1973-74

Continuando gli studi intrapresi con la tesi di laurea, si occupa delle proprietà analitiche e statistiche delle sequenze binarie. In particolare, in **C1** sono studiate le proprietà di un operatore lineare operante su sequenze di bits (elementi di $GF(2)$). Tale operatore e il suo inverso presentano analogie con l'integrale e la derivata dell'analisi classica. L'operatore considerato e le sue potenze vengono utilizzati per costruire basi di "vettori" indipendenti e viene ricavato uno sviluppo formalmente analogo a quello di Taylor.

In **C2** e **D1** si presenta un nuovo modello matematico di sorgente binaria. Tale modello è più adeguato ai casi pratici del modello markoviano perché a) tiene conto della dipendenza tra i bit a qualsiasi distanza, b) tiene conto del fatto che tale dipendenza decresce con la distanza. È presentato un mezzo di studio (le trasformate di Walsh) particolarmente adeguato al modello.

Tali studi sono finalizzati ad applicazioni in Teoria dei Codici.

1976-79

Inizia la collaborazione col gruppo di ricerca delle onde gravitazionali dell'Università di Roma "La Sapienza", diretto dai professori E. Amaldi e G. Pizzella. Qui si occupa principalmente dello sviluppo di metodi di analisi dei dati prodotti dalle antenne gravitazionali. A quell'epoca tali dati, prodotti da esperimenti come quelli di Weber e del gruppo Frascati-Monaco, erano trattati in modo non ottimale, con metodi sviluppati da Weber e da Gibbons e Hawking.

Il gruppo di Roma in quegli anni mette a punto un'antenna gravitazionale risonante criogenica da 20 chilogrammi e quindi una da 390 chilogrammi (**C5, A2, B2**). Vengono

verificate le aspettative teoriche e vengono effettuate misure per oltre un mese.

In quest'ambito sviluppa modelli e filtri discreti ottimali (nel dominio del tempo) per i segnali delle antenne gravitazionali, utilizzati praticamente fino ad ora. In particolare, in **C3**, si studiano i processi stocastici gaussiani discreti e vengono descritti i modelli AR (autoregressivi), MA (a media mobile) e ARMA (auto-regressive moving-average), presentando il problema della predizione e del filtraggio. Si applicano tali concetti al problema della rivelazione delle onde gravitazionali tramite antenne gravitazionali risonanti.

In **C4** vengono studiati i disturbi presenti nella rivelazione delle onde gravitazionali con antenne risonanti. Tali disturbi sono modellati con processi stocastici di cui si determinano le caratteristiche in due casi diversi di strumentazione elettronica. Viene quindi calcolato il rapporto segnale/rumore usando vari metodi di filtraggio subottimale; viene infine costruito il filtro che ottimizza la rivelazione di brevi burst di radiazione gravitazionale usando la teoria di Wiener e Kolmogorov.

In **B1** viene calcolato il filtro adattato per la rivelazione di un'onda gravitazionale impulsiva e si dá l'andamento del rapporto segnale/rumore per tale filtro al variare del tempo di campionamento, del tempo d'integrazione dei PSD e del tempo di smorzamento meccanico dell'antenna.

In **A1** si presentano la teoria e i risultati sperimentali (antenna da 20 kg) dell'analisi dati per antenne gravitazionali, nel caso di alcuni filtri (diretto, predizione di ordine zero, predizione del primo ordine, Wiener-Kolmogorov continuo discretizzato). In **C7** vengono presentati in modo esteso i metodi e i risultati dello studio dei processi stocastici all'uscita della catena di rivelazione di un'antenna gravitazionale risonante. I processi ARMA sono studiati tramite le trasformate z e vengono presentate le soluzioni del "problema diretto" (dati i coefficienti ARMA, ricavare le proprietà del processo) e del "problema inverso" (note le proprietà statistiche del processo, ricavare i coefficienti ARMA). Viene dimostrata l'equivalenza tra il filtro ottimo di Wiener-Kolmogorov e il filtro adattato e si presenta il formalismo delle variabili di stato. Si danno quindi i risultati del rapporto segnale/rumore ottimo per due diversi metodi di rivelazione del segnale. In appendice, tra l'altro, sono ricavate varie tavole di pratico interesse nelle applicazioni dei processi discreti nella rivelazione delle onde gravitazionali.

In questo periodo ha svolto numerose comunicazioni e seminari sugli argomenti suddetti [**D2, D5, D6, D7, D9, D10, D11, D12, D14**].

1979-80

Per quanto riguarda l'analisi dati per le antenne gravitazionali, si occupa del problema della rivelazione delle onde gravitazionali tramite una rete di antenne, definendo

le disposizioni migliori per le singole antenne (a seconda della locazione geografica di ognuna) e studiando i parametri della sorgente che possono ricavarsi con una tale rete, per impulsi brevi e in condizioni di basso rapporto segnale/rumore [A4, D13, D15, D16, D17]. In particolare, in A4 viene descritto un semplice dispositivo meccanico che dá, per qualsiasi antenna gravitazionale cilindrica comunque e dovunque disposta sulla superficie terrestre, la zona di cielo verso cui é diretta e l'angolo di polarizzazione che é meglio ricevuto, ad un qualsiasi istante di tempo. Con tale strumento si ha un rapido e intuitivo aiuto in diversi problemi di orientazione di antenne gravitazionali.

Per quanto riguarda invece il problema della trasduzione elettromeccanica per le antenne gravitazionali, studia un approccio al problema piú generale di quello di Weber [D18]. Mette a punto una metodologia di misura della frequenza per antenne gravitazionali ad alto fattore di merito [A3]. Il metodo si basa sull'indurre il sistema all'autoscillazione tramite reazione positiva ed é di gran lunga piú veloce del metodo della risposta in frequenza.

1980-83

Le prime misure effettuate con le antenne gravitazionali del gruppo di Roma mostrano la presenza di grandi impulsi nei dati. Misure in coincidenza tra le antenne gravitazionali di Frascati e Roma [A5] sembrano escludere effetti locali (probabilitá di occorrenza casuale < 0.0001). Analizzando tali impulsi, trova le periodicitá delle oscillazioni libere della Terra. Realizza quindi una metodologia di analisi spettrale per questo tipo di dati e la applica ai grossi eventi di precedenti periodi di osservazione, trovando le periodicitá delle maree. Successive osservazioni con le antenne di Frascati e Ginevra evidenziano soprattutto la periodicitá di mezzo giorno siderale con la fase di circa 180 gradi. Per studiare la possibile origine geofisica di tale periodicitá, ha passato brevi periodi in visita presso l'Osservatorio Astronomico di Bruxelles, dove ha avuto contatti col prof. P.Melchior e collaboratori [A6, A7, B3, B5, C8, C9, D19, D20, D21, D22, D23, D24, D26, D28, D30].

Si inizia lo sviluppo presso il CERN dell'antenna criogenica Explorer, di 2300 kg [B4, B6]. Tale antenna é costituita da un cilindro di alluminio ad una delle cui estremitá é connesso un trasduttore capacitivo risonante alla stessa frequenza del suo primo modo longitudinale; si costituisce cosí un doppio oscillatore, con l'effetto di amplificare nel trasduttore l'oscillazione del cilindro.

1983-84

In contatto con il prof. A.Mammano e il prof. F.Ciatti, ha sviluppato un metodo di analisi spettrale per i dati della stella SS433, basato sulla sottrazione ricorsiva delle

varie righe spettrali. Tale metodo ha evidenziato nuove periodicità nelle linee mobili di SS433. [A8, D25, D27].

1984-87

Per quanto riguarda le antenne gravitazionali, si occupa dell'esperimento GEOGRAV, volto a studiare il fenomeno dei grandi impulsi nelle antenne gravitazionali. Per esso è stata realizzata un'antenna a temperatura ambiente da 2300 kg, corredata di alcuni sensori geofisici (antenna elettrica, gravimetro, accelerometro su vari canali), in grado di rimanere attiva per lunghi periodi e con un efficiente sistema di acquisizione dati [C29, C31]. Per tale esperimento ha inoltre progettato e realizzato (con la collaborazione di alcuni laureandi) il software di acquisizione e di analisi (su calcolatori PDP, VAX e, in una prima fase, UNIVAC). [A9, A10, A14, B8, C10, D31, D35, D37, D38]. In particolare, in A9 si presenta l'apparato sperimentale ed alcune misure preliminari. In A10 si analizzano i dati dei primi diciotto mesi di misure, caratterizzando le correlazioni tra i diversi canali di misura. Le periodicità trovate nei precedenti lavori non vengono ritrovate, ma, utilizzando un metodo di analisi che evidenzia effetti non stazionari, si individuano due sottoperiodi di quattro mesi e mezzo ciascuno, in cui la periodicità semisiderale è presente nei dati dell'antenna, ma con fasi diverse. In A14 si descrive il metodo di "inseguimento" della frequenza del primo modo longitudinale (che varia a causa della variazione della temperatura) e si correlano a tale frequenza, varie grandezze fisiche, come la costante di decadimento tau, il coefficiente di trasduzione alfa e la temperatura efficace; a partire quindi dalla misura della frequenza (accurata al millihertz) fatta osservando il rumore browniano della sbarra, si costruisce il filtro adattato per rivelare brevi burst di onde gravitazionali.

Propone l'uso di metodi di analisi nel dominio della frequenza, per la ricerca di radiazione gravitazionale monocromatica e impulsiva [B7].

L'antenna Geograv, ancora operante, è l'antenna gravitazionale con più lungo periodo di operazione (7 anni circa) in Italia e la seconda (dopo quella di Weber) nel mondo. Ciò ha permesso di sviluppare e affinare le tecniche e le strategie di acquisizione e di analisi dati.

Si esegue il primo esperimento di coincidenza triplice tra le antenne gravitazionali criogeniche dei gruppi di Roma (antenna Explorer al CERN), Louisiana (prof. W.O. Hamilton) e Stanford (prof. W.M. Fairbank), che sono i maggiori gruppi operanti al mondo con antenne gravitazionali risonanti. Si fanno osservazioni in coincidenza per circa tre mesi e si arriva a porre un limite superiore sul flusso di radiazione gravitazionale impulsiva [A15].

Collabora alla ristrutturazione dell'antenna GEOGRAV e alla realizzazione delle antenne AGATA (a temperatura ambiente, sviluppata al CERN ed ora in operazione a Frascati INFN), EXPLORER (al CERN, a 2 K) e NAUTILUS (ultracriogenica, attualmente al CERN [A20, B12]), sviluppando metodi di filtraggio adattivi, cioè che tengano conto delle caratteristiche spettrali fini dello spettro del rumore e delle sue variazioni temporali. [A16].

L'esplosione della supernova SN1987a stimola la ricerca di coincidenze tra rivelatori di onde gravitazionali e rivelatori di neutrini. Nel giorno dell'esplosione della supernova erano attive due antenne gravitazionali, entrambe a temperatura ambiente e quindi di bassa sensibilità: l'antenna GEOGRAV a Roma e una in Maryland, gestita dal prof. J.Weber. Erano inoltre attivi i rivelatori di neutrini del Monte Bianco, di Kamioka in Giappone, di IMB in USA e di Baksan in URSS. Per analizzare eventuali coincidenze, ha messo a punto un metodo statistico non parametrico che ha evidenziato un periodo di circa un'ora intorno alle 2:45 del 23 febbraio 1987 in cui tutti questi rivelatori presentano coincidenze fortemente fuori statistica. Rimane il problema di capire quale sia la causa fisica del fenomeno, poiché per avere simili eventi gravitazionali sulle antenne a temperatura ambiente, per una sorgente situata nella Grande Nube di Magellano, occorrerebbero migliaia di masse solari convertite in onde gravitazionali (cioè centinaia di volte più della massa della stella esplosa) [A11, A13, A17, B9, B10, B13, C11, C12].

Intraprende il progetto e la realizzazione del sistema di acquisizione dati per antenne gravitazionali DAGA. Tale sistema, che utilizza un microvax con particolari schede di acquisizione dati, lavora a frequenze di campionamento dell'ordine del centinaio di hertz (circa 100 volte più che in passato). L'elaborazione dati, in tempo reale, viene eseguita tramite una originale procedura nel dominio della frequenza che permette di ricostruire il segnale analogico all'uscita dell'antenna e l'eventuale eccitazione gravitazionale in una vasta banda di frequenza. Vengono anche eseguite stime spettrali, sulla base delle quali si ricavano i parametri fisici variabili nel tempo (frequenze, fattori di merito, varianze dei modi e rumore a larga banda) e un modello sperimentale del rumore presente che vengono utilizzati per costruire il filtro adattivo ottimizzato e monitorare l'apparato. Il filtro risultante, molto più complesso di quelli usati in precedenza (con migliaia di coefficienti invece di qualche decina e adattivo, cioè variabile nel tempo), viene realizzato in tempo reale nel dominio della frequenza. Il sistema DAGA fornisce inoltre estesi programmi di controllo, monitoraggio e analisi. Attualmente è in uso sulle antenne

gravitazionali EXPLORER e NAUTILUS (al CERN), ALTAIR (Frascati IFSI-CNR), AGATA (Frascati INFN) [B14, B15, D40, D41, D42, D44, D45, D46].

L'antenna Explorer é anche utilizzata per misurare il campo gravitazionale dinamico vicino, per la ricerca di deviazioni della legge dell'inverso del quadrato della distanza e/o effetti dovuti al numero barionico del materiale della "sorgente". I risultati preliminari sono in accordo con la teoria classica [A18].

Studia il problema della rivelazione delle onde gravitazionali monocromatiche con antenne risonanti. Utilizzando i dati di quattro anni dell'esperimento GEOGRAV, pone un limite superiore di rivelazione in una banda di alcuni hertz, inferiore a tutti gli analoghi precedenti [A19, D43]. Attualmente sta sviluppando la possibilitá di tale rivelazione tramite il sistema DAGA [B15, D45, D46].

Si occupa del problema dell'orientazione delle antenne gravitazionali, proponendo di massimizzare la copertura del cielo e di ottimizzare la stima dei parametri fisici della sorgente [A12, B11, D44].

ATTIVITÁ DIDATTICA

A.A. 1973-74 Esercitazioni al corso di "Teoria dell'Informazione e Trasmissione" del prof. G.Gestri.

A.A. 1976-77 Esercitazioni al corso di "Cibernetica (ind. generale)" del prof. G.V. Pallottino.

A.A. 1977-78 Esercitazioni al corso di "Cibernetica (ind. generale)" del prof. G.V. Pallottino. Dall'A.A. 1977-78 all'A.A. 1980-81 ha svolto, nell'ambito di questo corso, dei complementi di Teoria dell'Informazione, per i quali ha scritto delle dispense [B 6].

A.A. 1978-79 Esercitazioni al corso di "Laboratorio di Fisica II" dei proff. Marini e Paoluzi (esperienze di Elettronica).

A.A. 1979-80 Idem.

A.A. 1980-81 Idem.

A.A. 1981-82 una unitá didattica di Laboratorio di Fisica II e mezza unitá di Esperimentazione Fisica del prof. M.Severi.

A.A. 1982-83 una unità didattica di Esperimentazione Fisica I (prof. S.Improta) e mezza unità di Laboratorio di Fisica II.

A.A. 1983-84 una unità didattica di Esperimentazione Fisica II e mezza unità di Laboratorio di Fisica II.

A.A. 1984-85 una unità didattica di Esperimentazione Fisica I (prof. S.Improta) e mezza unità di Laboratorio di Fisica II.

A.A. 1985-86 una unità didattica di Esperimentazione Fisica II e mezza unità di Laboratorio di Fisica II.

A.A. 1986-87 una unità didattica di Esperimentazione Fisica I (prof. S.Improta) e mezza unità di Laboratorio di Fisica II.

A.A. 1987-88 una unità didattica di Laboratorio di Fisica I (prof. Calvani) e mezza unità di Laboratorio di Fisica II.

A.A. 1988-89 Idem.

A.A. 1989-90 Idem.

A.A. 1990-91 Idem. Inoltre, nell'ambito del corso di Laboratorio di Fisica I, fa un breve corso di Fortran (8 lezioni).

A.A. 1991-92 Idem. Svolge inoltre alcune lezioni sulla Relatività Generale e le sorgenti di onde gravitazionali per gli studenti del dottorato in Astrofisica.

Ha inoltre fatto parte della commissione d'esame di Cibernetica (ind. generale) e di Cibernetica (ind. applicativo), Fisica Generale I per fisici e per matematici, Costanti Fisiche Fondamentali, oltre a quelle dei corsi di esercitazione dei singoli anni.

Ha seguito le seguenti tesi di laurea:

Simonetta Cipriani

"Analisi di reti di antenne gravitazionali"

Laurea in Fisica A.A. 1980-81

Relatore: S. Frasca

Carla Dozzo

"Studio di un processo stocastico autoregressivo con deriva di frequenza"

Laurea in Matematica A.A. 1980-81

Relatore: G. Koch, S. Frasca

Claudio Tomatis

"Analisi dei dati delle antenne gravitazionali del gruppo di Roma"

Laurea in Fisica A.A. 1983-84

Relatore: S. Frasca

Michela Falchi

"Analisi dei dati gravimetrici dell'esperimento GEOGRAV"

Laurea in Fisica A.A. 1983-84

Relatore: S. Frasca

Marcello Pappagallo

"Antenna gravitazionale per lo studio delle correlazioni con le vibrazioni della Terra: collegamento al calcolatore e analisi dati"

Laurea in Fisica A.A. 1983-84

Relatori: G.V. Pallottino, S. Frasca

Paolo Venturoni

"Filtraggio adattivo per i dati dell'antenna gravitazionale di Ginevra"

Laurea in Fisica A.A. 1984-85

Relatore: S. Frasca

Anna Laura Mastrolenzi

"Studio numerico di mappe iterative"

Laurea in Matematica A.A. 1984-85

Relatore: M. Pulvirenti, S. Frasca

Fabrizio Macci

"Un nuovo tipo di rate meter basato sul processo di formazione delle file d'attesa - Possibile presenza di rumore Flicker nelle fluttuazioni del rateo di emissione di particelle alfa"

Laurea in Fisica A.A. 1984-85

Relatore: A. Serra, S. Frasca

Claudio Retico

”Sistema di acquisizione dati per antenne gravitazionali ed analisi dati”

Laurea in Fisica A.A. 1987-88

Relatore: S. Frasca

Corrado La Posta

”Analisi di quattro anni di dati dell’esperimento GEOGRAV”

Laurea in Fisica A.A. 1988-89

Relatore: S. Frasca

Francesca Romana Mariani

”Analisi dei dati spettrali di antenne gravitazionali”

Laurea in Fisica A.A. 1989-90

Relatore: S. Frasca

Gianfranco Paterniti

”Realizzazione di un filtro adattivo per antenne gravitazionali”

Laurea in Fisica A.A. 1989-90

Relatore: S. Frasca

Margherita Calabrese

”Studio degli eventi rivelati da antenne gravitazionali risonanti”

(in preparazione)

Relatore: S. Frasca

Anna Piloizzi

”Ricerca di segnali monocromatici nei dati dell’antenna gravitazionale Explorer”

(in preparazione)

Relatore: S. Frasca

Maria Alessandra Papa

”Rivelazione di eventi con una rete di antenne gravitazionali”

(in preparazione)

Relatore: S. Frasca