

Curriculum

di Sergio Frasca

nato il 16-2-1949

STUDI E POSIZIONI

1973

Laurea in Fisica (voti 110/110 e lode) presso l'Università degli Studi di Roma (20 Luglio 1973). Titolo della tesi: *Su una classe di sistemi predittivi: teoria e applicazioni*, relatore dott. Silvio Bevilacqua.

1974

Assistente "ad horas", presso l'Istituto di Scienze dell'Informazione dell'Università di Pisa, al corso di Teoria dell'Informazione e Trasmissione del prof. G.Gestri (febbraio - giugno). Nel mese di giugno ho vinto il concorso per borse di studio del CNR (bando 201-1-41 di Analisi e Informatica Matematica). Il programma di ricerca prevedeva lo studio di particolari codici correttori e delle loro caratteristiche statistiche (direttore di ricerca prof. P.Piram). La borsa è stata interrotta per il servizio militare.

Ottobre '74-Gennaio '76

Servizio militare, prestato come sottotenente di complemento del Servizio Tecnico Chimico Fisico e Biologico dell'esercito.

1976

Ho iniziato l'attività come detentore dell'Assegno di Studio del Ministero della Pubblica Istruzione (vinto nel marzo 1975). L'attività è svolta presso il Gruppo di Ricerca delle Onde Gravitazionali dell'Istituto di Fisica dell'Università di Roma.

1981

L'1 agosto sono entrato nel ruolo di Ricercatore Universitario Confermato, continuando la mia attività presso l'Istituto di Fisica "G.Marconi" (attualmente Dipartimento) dell'Università di Roma "La Sapienza".

ATTIVITA' DI RICERCA

I riferimenti sono alle liste delle pubblicazioni su riviste (**R**) e su atti di congressi (**A**), delle note interne (**N**), dei seminari (**S**) e delle comunicazioni (**C**), in appendice al presente curriculum.

presso l'Università di Pisa

Dopo la laurea, ho iniziato la mia attività di ricerca presso l'Istituto di Scienze dell'Informazione dell'Università di Pisa. Qui mi sono occupato delle proprietà analitiche e statistiche delle sequenze binarie.

In particolare, in [**N1974A**] ho studiato le proprietà di un operatore lineare operante su sequenze di bit (elementi di $GF(2)$). Tale operatore e il suo inverso presentano analogie con l'integrale e la derivata dell'analisi classica. Ho utilizzato tale operatore e le sue potenze per costruire basi di "vettori" indipendenti e ho ricavato uno sviluppo formalmente analogo a quello di Taylor.

In [**N1974B**] e [**C1**] ho presentato un nuovo modello matematico di sorgente binaria. Tale modello è più adeguato ai casi pratici del modello markoviano perché:

- tiene conto della dipendenza tra i bit a qualsiasi distanza,
- tiene conto del fatto che tale dipendenza decresce con la distanza.

Ho presentato inoltre un mezzo di studio (le trasformate di Walsh) particolarmente adeguato al modello. Tali studi erano finalizzati ad applicazioni in Teoria dei Codici.

Nell'A.A. 1977-78, presso l'Università di Roma, ho scritto le dispense di un breve corso di Teoria dell'Informazione tenuto da me nell'ambito del corso di Cibernetica (indirizzo generale) per il quale svolgevo le esercitazioni, utilizzando l'esperienza in Teoria dell'Informazione maturata a Pisa. Tale breve corso è stato da me ripetuto nei tre anni successivi.

presso l'Università "La Sapienza"

Dal 1976 conduco la mia attività di ricerca nel campo delle onde gravitazionali presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza", prima presso il gruppo ROG, che ha realizzato due grandi antenne risonanti criogeniche, e poi presso il gruppo VIRGO, che sta realizzando una grande antenna interferometrica (presso Cascina). Suddividerò la mia attività all'Università "La Sapienza" secondo i seguenti temi:

- Attività generale del gruppo ROG
- Analisi dati e modelli per le antenne gravitazionali
- L'antenna Geograv
- Sistemi di acquisizione per antenne gravitazionali
- Reti di antenne gravitazionali
- Array gravitazionale
- Attività presso il gruppo Virgo
- Altro
- Attività organizzativa

■ Attività generale del gruppo ROG (dal 1976)

a) 1976-1980

Il gruppo di ricerca sulle onde gravitazionali, operante all'inizio presso il Dipartimento di Fisica dell'Università "La Sapienza", e in seguito anche presso altre sedi, ha iniziato la sua attività nel 1971, sotto la direzione del prof. Guido Pizzella. Scopo iniziale del gruppo era la realizzazione di un'antenna gravitazionale risonante criogenica di alluminio, di tre metri di lunghezza e della massa di circa 2300 kg, che sarebbe dovuto essere messa in misura insieme con altre due analoghe realizzate presso le università di Stanford (prof. W. Fairbank) e della Louisiana (prof. W. Hamilton). Dopo un infruttuoso tentativo, si decise di procedere per piccoli passi, realizzando, negli anni 1976-80, prima alcune antenne di 20~30 kg e quindi, presso il laboratorio LPS del CNR a Frascati, un'antenna di circa 390 kg (chiamata in seguito ALTAIR).

A questo primo periodo appartengono [S3, S5, C2, C4, N1997C, R1978B,]. In [R1979] ho messo a punto una metodologia di misura della frequenza per antenne gravitazionali ad alto fattore di merito. Il metodo si basa sull'indurre il sistema all'autoscillazione tramite reazione positiva ed è di gran lunga più veloce del metodo della risposta in frequenza. Per quanto riguarda invece il problema della trasduzione elettromeccanica per le antenne gravitazionali, ho studiato un approccio al problema più generale di quello proposto da Weber [C9].

b) 1980-1990

Negli anni 80 è stata realizzata dal gruppo al CERN un'antenna criogenica (2 K) da 2300 kg, chiamata EXPLORER. Sono anche state realizzate due antenne gravitazionali a temperatura ambiente, GEOGRAV, di cui parlerò a parte, e AGATA, per studiare vari problemi particolari.

A questo periodo fanno riferimento [A1982, A1983B, A1986A, A1989B, C21, C27, C46]. Sono state fatte le prime misure in coincidenza tripla tra le antenne criogeniche del gruppo di Roma, di Stanford e della Louisiana, con risultati nulli, e si è posto un limite superiore all'ampiezza degli eventi rivelabili da Terra [R1989C].

L'esplosione della supernova SN1987a ha stimolato la ricerca di coincidenze tra rivelatori di onde gravitazionali e rivelatori di neutrini. Al momento 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, ho 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 [R1987B, R1989A, R1991A, R1991E, A1987, A1988B, A1989B, A1989C, C47, N1987, N1988]. Ovviamente è molto improbabile che il fenomeno sia collegato effettivamente ad eventi, poiché per generare tali eventi 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).

c) Dal 1990

Negli anni 90 l'antenna EXPLORER è entrata in presa dati quasi continua (a parte alcune interruzioni per manutenzione straordinaria, e si è quindi realizzata un'antenna ultracriogenica (temperatura raggiunta 100 mK) delle stesse dimensioni di EXPLORER, chiamata NAUTILUS ed attualmente sita presso l'INFN a Frascati.

A questo periodo fanno riferimento [S16, C37, C39, C41, C48, C49, C65, N1990, R1990, R1991D, R1992A, R1993A, R1993B, R1997B, A1991B, A1995D, A1995E, A1998D, N1990].

L'antenna Explorer è stata 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". Il campo variabile era generato da un rotore che girava alla frequenza metà della frequenza di uno dei modi dell'antenna. I risultati sono in accordo con la teoria classica [R1991B, R1998] e sono stati usati per confermare la calibrazione del rivelatore.

■ Analisi dati e modelli per le antenne gravitazionali (dal 1976)

La mia principale attività presso il gruppo ROG è stata fin dall'inizio lo sviluppo di metodi di analisi dei dati prodotti dalle antenne gravitazionali. Essa si è esplicata nella realizzazione di

- a) *metodi di filtraggio, per aumentare il rapporto segnale rumore nella rivelazione degli eventi impulsivi*
- b) *metodi di analisi degli eventi*
- c) *rivelazione di radiazione monocromatica*

a) metodi di filtraggio

Quando ho iniziato la mia attività, i 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.

In quest'ambito, negli anni 1976-80, ho sviluppato modelli e filtri discreti ottimali (nel dominio del tempo) per i segnali delle antenne gravitazionali, basati sulla teoria del filtraggio ottimo di Wiener e Kolmogorov, ancora oggi praticamente utilizzati.

In particolare, in [N1997A], sono studiati i processi stocastici gaussiani discreti di interesse per l'analisi dati delle antenne gravitazionali risonanti 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.

In [N1997B] vengono studiati i disturbi presenti nella rivelazione delle onde gravitazionali. 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 [A1978] calcolo il filtro adattato per la rivelazione di un'onda gravitazionale impulsiva e si dà 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 [R1978A] 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 [N1979] 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 ho svolto numerose comunicazioni e seminari sugli argomenti suddetti [S1, S4, S5, S6, S8, S9, C3, C5, C6, C7, N1992].

Con lo sviluppo delle tecnologie informatiche, si sono resi possibili più ambiziosi progetti nel campo del filtraggio. In particolare, poiché le assunzioni teoriche sulla stazionarietà del rumore erano solo raramente verificate, i filtri usati erano "ottimi" solo nominalmente. Ho quindi studiato la possibilità di realizzare filtri adattivi, che riconoscessero le caratteristiche del rumore presente (tramite la stima dai dati dello spettro di potenza delle ultime due ore) e realizzassero il filtro ottimizzato per queste. Ne risulta in genere un filtro piuttosto complesso, per la cui realizzazione ho dovuto mettere a punto metodi di analisi in frequenza. Tale metodo di filtraggio è stato implementato in tempo reale nel sistema di acquisizione dati da me realizzato (vedi il paragrafo sui sistemi di acquisizione dati).

A questo riguardo si vedano [S11, S13, S17, C22, C29, C33, C38, C44, C53, C54, C57, C58, C59, C64, A1986B, A1988C, A1992A, A1993D, R1992B, R1997A, N1995].

b) metodi di analisi degli eventi

Quando sono cominciati ad essere prodotti dati dalle varie antenne gravitazionali del gruppo è sorta la necessità di analizzare con attenzione gli eventi presenti nei dati, al fine di individuarne l'origine. Tali eventi, molto più ampi di quanto potesse essere valutato per eventi gravitazionali, erano talora in coincidenza tra antenne lontane. Mi sono dedicato allo studio delle periodicità presenti di tali eventi, mettendo a punto alcuni algoritmi di analisi originali. Con questi metodi sono state individuate periodicità proprie di fenomeni geofisici (frequenze delle oscillazioni libere della Terra e frequenze mareali). Per studiare il problema ho passato brevi periodi presso l'Osservatorio Astronomico di Bruxelles, dove ho avuto contatti col professor P. Melchior, massimo esperto di maree terrestri, e i suoi collaboratori. E' stata anche realizzata, presso l'Università "La Sapienza", un'antenna gravitazionale a temperatura ambiente equipaggiata di molti sensori ausiliari (vedi il paragrafo "L'antenna Geograv").

In [R1981A] sono riportate le misure in coincidenza tra le antenne di Frascati (390 kg) e di Roma (30 kg): si sono trovati alcuni eventi in coincidenza (probabilità di occorrenza casuale < 0.0001). L'analisi di questi eventi e di successivi dati ha evidenziato le periodicità suddette [R1981B, R1981C, C10, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, A1983A, A1985, N1981, N1983, N1985].

In occasione dell'esplosione della supernova SN1987a nella grande nube di Magellano ho messo a punto una metodologia di analisi di coincidenza, basata sul concetto di "filtro adattato", per evidenziare le eventuali coincidenze tra i neutrini e i segnali delle antenne gravitazionali di Roma e del Maryland.

I lavori prodotti con questa metodologia sono riportati nel paragrafo precedente.

c) rivelazione di radiazione monocromatica

Le antenne gravitazionali risonanti sono state progettate per rivelare la radiazione impulsiva. La scoperta negli anni 80 di pulsar con periodicità del millisecondo ha aperto ad

esse la possibilità di rivelare anche sorgenti monocromatiche.. Ho utilizzato quindi i dati di quattro anni dell'esperimento GEOGRAV, tramite un particolare algoritmo adattato alle loro caratteristiche, per porre un limite superiore di rivelazione in una banda di alcuni hertz, inferiore a tutti gli analoghi precedenti [R1991C, C30]. Ho quindi sviluppato la possibilità di tale rivelazione tramite il sistema di acquisizione DAGA [A1991A, C34, C35]. Metodi di analisi più raffinati, resi possibili dalla aumentata potenza dei calcolatori, si stanno mettendo a punto ora (vedi paragrafo sull'esperimento Virgo).

■ L'antenna Geograv (1983-90)

La presenza dei grandi eventi con periodicità geofisiche nei dati delle antenne gravitazionali ha indotto alla realizzazione dell'antenna Geograv, una sbarra cilindrica di alluminio di 3 metri di lunghezza e 2300 kg di massa, a temperatura ambiente, corredata di vari sensori. In particolare era presente un gravimetro Lacoste-Romberg messo a disposizione dal professor B.Toro dell'Istituto di Geologia, vari sensori sismici dentro e fuori della camera da vuoto, un'antenna "elettrica" ed una "magnetica", un sensore per i disturbi sulla rete elettrica. Tale antenna è stata attiva in modo continuo per circa sette anni (le altre nostre antenne erano state in misura per non più di un paio di mesi) ed ha permesso di

- a) comprendere parecchi problemi connessi ai disturbi sismici e di altro tipo (per esempio la triboelettricità nei cavi che portano il segnale, la presenza di uno spettro $1/f$ nei disturbi locali, la presenza di correlazioni spurie nei dati dovute a disturbi di rete, la presenza dei rumori interni alla camera da vuoto dovuta a creep nell'antenna)
- b) studiare alcuni tipi di trasduttori; all'inizio è stato usato un trasduttore piezoelettrico, ma successivamente ne sono stati usati altri capacitivi in vari metalli
- c) sviluppare un efficiente sistema di acquisizione e varie tecniche di analisi dati, come i filtri adattivi per aumentare il rapporto segnale rumore, un metodo adattivo per l'individuazione degli eventi, un metodo per il tracking della frequenza del modo di vibrazione longitudinale della sbarra tramite l'osservazione del rumore browniano, un metodo per la rivelazione della radiazione monocromatica, vari metodi per l'analisi degli eventi.

In particolare, in [R1985] si presenta l'apparato sperimentale ed alcune misure preliminari. In [R1987A] 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 [R1989B] 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. Vedasi anche [A1988A, C19, C23, C25].

■ Sistemi di acquisizione per antenne gravitazionali (1987-1998)

Con l'esperienza maturata con l'esperimento Geograv, per cui avevo realizzato un semplice sistema di acquisizione dati [S10], ho realizzato un sistema di acquisizione dati generale per antenne gravitazionali risonanti, denominato DAGA. Tale sistema, divenuto successivamente DAGA2 ed attualmente DAGA2_HF, è implementato su tutte le antenne del gruppo. Esso è costituito da vari programmi, per lo più in FORTRAN, (per un totale di circa 100000 righe) ed è stato sviluppato per il sistema operativo OpenVMS

DAGA (e le sue successive versioni) provvede alla creazione di un data-base dei dati campionati per i vari canali, degli eventi, degli spettri e delle statistiche calcolate in tempo reale, dei parametri di misura, dei commenti degli sperimentatori, degli errori di timing ed altro; contiene vari strumenti per monitorare i risultati dell'analisi in tempo reale e per l'accesso e l'analisi del data-base.

La caratteristica più importante di questo sistema di acquisizione è l'utilizzo di originali metodologie di signal processing per il canale principale dell'antenna. Il segnale all'uscita dal trasduttore è contenuto in una stretta banda (alcuni hertz) intorno a circa 1 kHz. In altri

metodi di acquisizione, una volta amplificato, esso viene mandato ad un lock-in che lo riduce di frequenza e lo integra: è questo il segnale che viene campionato ed acquisito. Questa semplice procedura è del tutto adeguata e comoda per le vecchie antenne con trasduttore piezoelettrico che presentavano una sola frequenza, ma crea problemi nel caso di trasduttori risonanti in cui sono presenti due o più modi da osservare. Nel metodo da me proposto ed utilizzato, il segnale viene acquisito direttamente, senza l'uso del lock-in, a circa 200 Hz, grazie al fenomeno dell'aliasing, e quindi elaborato con una procedura non lineare che riduce i dati conservati di quattro volte. Su questi dati sono applicati poi vari filtri adattivi operanti nel dominio della frequenza basati sulla stima dello spettro di potenza (variabile) del rumore.

Al sistema DAGA fanno riferimento [C28, C29, C36, A1988C, A1992A]. Al sistema DAGA2 fanno riferimento [C51, C66, S17, A1993B].

Dal 1995, con l'aiuto di una dottoranda, ho sviluppato DAGA2_HF [A1997E], in cui il tempo di campionamento è passato a 5000 Hz e sono state definite nuove strutture per l'analisi dati e l'acquisizione chiamate "multifiltri". Con tale sistema si hanno informazioni su varie bande di frequenza e quindi si può controllare efficientemente lo stato dell'antenna e la natura dei disturbi. E' anche possibile avere informazioni sulla forma d'onda eccitante.

Nel 1995 ho sviluppato il sito WWW del gruppo ROG, con la possibilità di accedere ai dati acquisiti dalle varie antenne gravitazionali.

■ Reti di antenne gravitazionali (1980-1998)

Per la presenza di disturbi di origine locale, la rivelazione delle onde gravitazionali non può essere realizzata con una singola antenna. Sin dalle prime osservazioni di Weber più antenne sono state messe "in coincidenza". Un insieme di antenne gravitazionale viene chiamato "rete".

I problemi teorici per la gestione di una rete di antenne gravitazionali sono:

- a) come orientare le varie antenne (massimizzando per esempio la probabilità di coincidenza tra i vari rivelatori o la "copertura" del cielo e quindi la probabilità di non "mancare" eventi, o infine l'informazione fisica sugli eventi)
- b) come elaborare i dati in modo ottimale

I problemi pratici sono

- a) realizzare strutture adeguate per un efficiente scambio dati e analisi dei medesimi
- b) realizzare accordi tra i vari gruppi che siano soddisfacenti per tutti.

Per quanto riguarda lo studio dei problemi teorici, ho iniziato ad occuparmene nel 1979. Fanno riferimento a questa tematica [S7, C8, R1980, C24, C31, C32, C42, C43, C45, C50, C52, A1989A, A1993A, A1993C, A1993E]. In R1995A è una panoramica del lavoro fatto.

Per quanto riguarda i problemi pratici, ho proposto un progetto di ricerca di Ateneo, di cui sono il responsabile, per la realizzazione di un centro internazionale di raccolta dei dati gravitazionali. Il progetto è stato approvato nel 1993 ed ulteriormente finanziato in anni successivi. Ho così realizzato un ampio data-base con i dati delle nostre antenne, quella della Louisiana State University, dell'Università di Perth e altri dati di interesse. Sono stato presso queste due università per brevi periodi.

Nel 1997 si è finalmente realizzato l' "International Gravitational Event Center" tra le cinque antenne risonanti criogeniche in funzione. In A1998F ho proposto una strategia di analisi per questi dati. In R2000D ci sono i primi risultati della collaborazione.

■ Array gravitazionale (1994-1997)

Nel 1993 è stata proposta, da Johnson e Merkovitz della Louisiana State University, la realizzazione di una sfera di alluminio del diametro di 3 m e quindi operante a circa 900 Hz, raffreddata a 10 mK, equipaggiata di 6 trasduttori, per la rivelazione delle onde gravitazionali impulsive. Tale antenna sarebbe circa 60 volte più sensibile, in linea di principio, delle antenne cilindriche attualmente in uso.

Tale proposta ha innescato tra i fisici "gravitazionali" un dibattito sullo sviluppo di nuovi tipi di rivelatori. In questo ambito, basandomi sulla mia esperienza sulle reti di antenne, ho proposto la realizzazione di un array di piccole antenne gravitazionali, a forma di

cilindro tozzo, equipaggiate con 5 trasduttori risonanti opportunamente disposti sulla superficie. Riassumo brevemente i punti su cui si basa questo progetto:

- a) le frequenze di maggiore interesse astrofisico sono superiori al kHz (3~10 kHz) e le antenne interferometriche attualmente in progetto non potranno coprire in modo competitivo questo range di frequenza
- b) la sensibilità di un'antenna gravitazionale è proporzionale alla sua massa e quindi cresce con le sue dimensioni, mentre la frequenza operativa diminuisce con le dimensioni. Questo è il motivo per cui si progettano grandi antenne gravitazionali a frequenze che non sono ottimizzate rispetto al segnale da rivelare. Ho dimostrato che un array gravitazionale, cioè un insieme di antenne gravitazionali situate nello stesso luogo e con la stessa frequenza, ha sensibilità pari a quella di una antenna avente come massa la somma delle masse delle antenne dell'array. Tali antenne possono essere "piccole" (dimensioni di circa 60 cm) e quindi ottimizzate alla frequenza di maggiore interesse. Inoltre le piccole dimensioni permettono di usare materiali come il molibdeno che hanno un'efficienza migliore dell'alluminio (per il Mo, oltre 6 volte).
- c) la forma proposta per le singole antenne è quella di un cilindro che abbia il diametro circa eguale alla lunghezza. Un tale corpo elastico presenta 5 modi di vibrazione con simmetria quadrupolare, tutte circa alla stessa frequenza, utilizzabili per rivelare onde gravitazionali.
- d) l'acquisizione e l'elaborazione dei dati proposta, è realizzabile tramite una rete di calcolatori con tecnologie già adesso disponibili a relativamente basso costo. Essa permette di avere informazioni sull'ampiezza, la polarizzazione e la provenienza dell'onda e, tramite una procedura chiamata "pattern rejection", di escludere praticamente tutti i disturbi locali.
- e) un array gravitazionale, data la sua modularità, è intrinsecamente uno strumento affidabile e, data la piccola dimensione delle antenne componenti, lo sviluppo è facilitato (per esempio si possono sviluppare più prototipi contemporaneamente e i tempi di raffreddamento sono molto inferiori)

Fanno riferimento a questo progetto [C52, C54, C55, C56, C60, C67, S14, S15, A1993E, A1995A, A1995B, A1997A, A1998B, N1994].

■ Attività presso il gruppo Virgo (dal 1996)

Il progetto Virgo è una collaborazione italo-francese che ha come scopo la realizzazione, presso Cascina, di un interferometro Michelson con braccia ortogonali di 3 chilometri, per la rivelazione di onde gravitazionali. Il progetto è partito da circa un decennio, la costruzione dal 1996 e l'interferometro dovrebbe essere in presa dati verso la fine del 2002. Nel mondo sono in costruzione due altri grandi interferometri (4 km di braccio) del progetto americano LIGO, uno "medio", GEO, anglo-tedesco di 600 m, mentre è entrato in funzione TAMA, giapponese di 300 m. L'interferometro del progetto Virgo si caratterizza per l'ottima attenuazione del rumore sismico in bassa frequenza, che gli dovrebbe permettere di avere una banda utile di frequenza dai 10 ai 6000 Hz.

La rivelazione del segnale nelle antenne gravitazionali interferometriche ha caratteristiche molto diverse da quelle delle antenne risonanti. In queste ultime la o le risonanze hanno un'ampiezza in genere inferiore al millihertz e l'uso di raffinati filtri porta la banda utile a qualche hertz, intorno alla risonanza (in genere circa 1000 Hz). I segnali interessanti da rivelare sono quindi quelli che hanno contenuto spettrale rilevante in quella banda, quindi soprattutto i segnali impulsivi (per esempio dovuti a collapsi a supernova). Nelle antenne interferometriche, invece, la banda è molto più ampia e ciò comporta, da un lato, una maggiore informazione sul segnale e, dall'altro, una molto maggiore mole di dati da analizzare. In particolare, oltre ai segnali impulsivi, è particolarmente interessante la ricerca dei segnali "chirp" (prodotti nella coalescenza di un sistema di due stelle compatte) e di quelli periodici (prodotti, per esempio, dalla rotazione di stelle di neutroni con asimmetrie assiali).

In Virgo ho cercato di portare l'esperienza maturata con le antenne risonanti, soprattutto nel campo del signal processing nel dominio della frequenza [per esempio, N1997A su un metodo di simulazione dei dati e N1997B su un metodo di analisi del fondo gravitazionale stocastico tramite l'uso di un data-base di dati spettrali].

Ho fatto un porting del software di analisi dati interattiva "Snag", che avevo sviluppato nel corso degli anni in FORTRAN, in ambiente MatLab con programmazione ad oggetti e,

parzialmente, in C e C++; attualmente esso è composto da oltre 400 funzioni, comprendenti vari metodi di analisi e di simulazione [R2000C].

Dal 1997 sono responsabile in Virgo per le sorgenti periodiche.

La rivelazione delle sorgenti periodiche è un compito particolarmente arduo dal punto di vista computazionale. Il numero di punti nello spazio dei parametri (posizione nel cielo e parametri di spin-down) è talmente elevato che con i metodi di rivelazione standard occorrerebbero miliardi di Tflops (attualmente esistono in tutto il mondo meno di mezza dozzina di calcolatori con la potenza di almeno 1 Tflops).

Ho quindi messo a punto un metodo gerarchico che, con una perdita in sensibilità non troppo grande, utilizza risorse di calcolo ragionevoli anche se elevate. Esso si basa sull'uso di un data-base di FFT del segnale e sull'alternare passi di analisi "coerenti" e "incoerenti". Per quanto riguarda i passi "incoerenti" ho proposto l'uso della trasformata di Hough. Su questa metodologia si è aperta una collaborazione col gruppo dell'"Albert Einstein Institute" (afferente al Max Planck) di Potsdam, guidato dal professor Bernard Schutz [N1998, A1998G, A1998H, R2000B].

Come responsabile Virgo per le sorgenti periodiche ho anche coordinato la scrittura del capitolo su tali sorgenti del DAD (Virgo Data Analysis Document) [N1999].

■ Altro

Nel 1982-83, in contatto con il prof. A.Mammano e il prof. F.Ciatti dell'Osservatorio di Asiago, ho sviluppato un metodo di analisi spettrale per i dati della stella peculiare SS433, basato sulla sottrazione ricorsiva delle varie righe spettrali. Tale metodo ha evidenziato nuove periodicità nelle linee mobili di SS433 [R1983, D25, D27].

Per affrontare la problematica relativa al progetto di futuri rivelatori, ho seguito una tesi di rassegna su tutti i lavori teorici sulle sorgenti gravitazionali ed ho messo a punto un metodo di valutazione della rivelabilità dei vari tipi di sorgenti con le varie antenne progettate [S12, C61, C62].

■ Attività organizzativa

Ho coordinato, come responsabile della ricerca, i seguenti progetti di ricerca di Roma "La Sapienza":

- Progetto di Ateneo "**Sistema di Memoria per un Data Base Cosmo-Geofisico**", che ha interessato, all'inizio (1992), i gruppi gravitazionale, geofisico e di raggi cosmici del Dipartimento di Fisica. Per quanto riguarda il gruppo gravitazionale, l'intento era la costituzione di un centro internazionale di raccolta dei dati delle antenne gravitazionali. Il progetto, per quanto riguarda la parte gravitazionale, è stato finanziato fino al 1996.
- Progetto di Ateneo "**Analisi Dati per le Antenne Gravitazionali**", finanziato nel 1997 e 1998.
- Progetto di Facoltà "**Prototipo di un'Antenna Multimodale per la Realizzazione di un Array Gravitazionale**", parzialmente finanziato per l'anno 1995.
- Unità locale del progetto MURST "**Analisi di Dati di Rivelatori Gravitazionali: Sviluppo di Metodologie e Ricerca di Segnali**", cofinanziato per il biennio 1998-1999.

Sono responsabile, dal 1997, della rivelazione delle sorgenti periodiche nel gruppo di ricerca Virgo.

Ho collaborato all'organizzazione del convegno internazionale **GWDAAW-99** (4th Gravitational Wave Data Analysis Workshop), a Roma nel Dicembre 1999, presiedendo la Local Organizing Committee. Ho anche collaborato all'editing dei proceedings, attualmente in stampa.

Sono attualmente coinvolto, in ambito INFN, nella realizzazione del progetto Grid per la realizzazione di una rete di super-calcolatori.

ATTIVITA' DIDATTICA

La mia attività didattica è riassunta dagli elenchi dei

- Corsi di lezioni
- Corsi di esercitazioni
- Laureandi e dottorandi seguiti

appresso riportati.