MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA

DIPARTIMENTO PER L'UNIVERSITÀ, L'ALTA FORMAZIONE ARTISTICA, MUSICALE E COREUTICA E PER LA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA
PROGRAMMI DI RICERCA SCIENTIFICA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE
RICHIESTA DI COFINANZIAMENTO (DM n. 30 del 12 febbraio 2004)

PROGRAMMA DI RICERCA - MODELLO A
Anno 2004 - prot. 2004025857

PARTE I

1.1 Programma di Ricerca di tipo
Interuniversitario

Area scientifico disciplinare *Scienze fisiche (100%)*

1.2 Titolo del Programma di Ricerca

Testo italiano

Problemi Complessi in Meccanica Statistica e Teoria dei Campi: uno Studio Teorico, Analitico e Computazionale.

Testo inglese
Complex Problems in Statistical Mechanics and Field Theory: a Theoretical Study, both Computational and Analytical.

1.3 Abstract del Programma di Ricerca

Testo italiano

Il nostro programma di ricerca e' basato su molti aspetti della fisica teorica utili allo studio di sistemi di alta complessita'. In un quadro orientato alla comprensione di situazioni sin qui non ben spiegate dalla fisica un gruppo di ricercatori ben collegati e che pensano di poter esprimere un alto livello di sinergia si coordina per cercare di lavorare ad un progetto di ricerca efficace.

Il quadro generale in cui la nostra ricerca e' inserita e' certamente, a questo punto, quello della fisica dei sistemi complessi e disordinati. I fenomeni critici in questo ambito si complicano. Le tecniche di scelta sono quelle della teoria dei campi, di analisi di grandi N (dove N sono le componenti dei campi fisici), delle simulazioni numeriche di sistemi reticolari, di dinamiche molecolari, di ottimizzazione (da tecniche di "matching" a metodi di calcolo di Pfaffiani), di processi stocastici, di analisi di equazioni idrodinamiche, di matrici random, di teoria delle perturbazioni, di metodi Monte Carlo e della costruzione di calcolatori ottimizzati per i nostri problemi.

Gli elementi sui quali si basa la nostra ricerca possono essere probabilmente riassunti, in forma estremamente sintetica, in

1. Sistemi disordinati;

2. Sistemi vetrosi;

3. Idrodinamica e turbolenza;

4 Teorie di campo e teorie di gauge.

Si tratta di sistemi che esibiscono comportamenti non comuni nella fisica tradizionale (pensiamo alla dinamica lenta, o alla presenza di strutture macroscopiche di grande coerenza e grande complessita', o alla possibile presenza di molti stati stabili o metastabili configurazionalmente assai differenti), che e' molto difficile tenere sotto controllo in modo quantitativo. E' per questo che l'unica ricetta possibile e' nell'uso (spesso abbastanza estremo) di un gran numero di tecniche di analisi.

La nostra proposta di PRIN (che permette ad una collaborazione che ci

appare proficua di continuare a progredire) utilizza quindi tecniche analitiche che si interfacciano a tecniche numeriche e computazionali, sino alla costruzione di calcolatori specifici destinati ad aiutarci nei nostri scopi. Le tecniche analitiche comprendono analisi di teoria dei campi assai dettagliate (teoria delle perturbazioni ad un numero di ordini molto alto, calcoli in 1/N di grande accuratezza), insieme ad analisi basate su una visione accurata dei fenomeni critici. Anche tecniche non-perturbative rivestono in quest'approccio un ruolo fondamentale.

In una situazione cosi' difficile (dove spesso metodi analitici sono insufficienti) l'uso di tecniche numeriche che affianchino e chiarifichino i risultati di calcoli analitici e' spesso cruciale.
I nostri gruppi usano un gran numero di mezzi di calcolo, e sviluppano algoritmi e metodi di simulazione numerica.

Conseguenza diretta di questo percorso e' che siamo direttamente coinvolti (come una parte importante del nostro progetto) nello sviluppo di calcolatori il cui progetto e' ottimizzato per i nostri problemi. Questa linea di ricerca ha forti ricadute di trasferimento tecnologico di alto livello.

Citiamo in ultimo alcune sinergie piu' rilevanti: i nostri gruppi hanno infatti una lunga storia di lavoro in comune, che speriamo possa arricchirsi in questo progetto. Pensiamo qui ad esempio (citando solo le principali fra le numerose interconnessioni fra i nostri gruppi) ai rapporti La Sapienza - Pisa - Milano sui metodi di teorie di campo, ai rapporti La Sapienza - Ferrara (in un contesto europeo) per il progetto di calcolatori dedicati, ai rapporti Tor Vergata - Ferrara per quel che riguarda lo studio della turbolenza.

Testo inglese

Our research program is based on many parts of theoretical physics that can be useful to study systems of high complexity. We try to understand more in a number of problems not well explained at today. For doing that a group of researchers, with a high level of synergy and well connected among them, is setting up this project trying to work effectively in an interesting research project.

The relevant general scenario is the one of physics of complex systems and of disordered systems. Here critical phenomena are even more complex. The techniques of choice are the ones of field theory, of large N analysis (here N is the number of components of the physical field), of numerical simulations of lattice systems, of molecular dynamics, of optimization (from matching techniques to computations of Pfaffians), of stochastic processes, of analysis of hydrodynamical equations, of random matrices, of perturbation theory, of Monte Carlo methods and of design and construction of computers optimized toward our problems of interest.

We can summarize in short the main elements of interest in our research as

1. Disordered systems;

2. Glassy systems;

3. Hydrodynamics and turbulence;

4. Field theory and Gauge theories.

We are dealing here with systems which exhibit a behavior that is not common in "traditional" physics (we think for example to slow dynamics, or to the presence of coherent and complex macroscopic structures, or to the possible presence of many stable or metastable state that have very different microscopic configuration), that is very difficult to keep under control from a quantitative point of view. It is because of this fact that the only plausible recipe is in using a large number of different techniques (frequently in a sophisticated way).

Because of that our proposal for this research project (that allow to continue an interesting collaboration) uses analytic techniques that are interfaced to numerical and computational approaches, all the way up to the construction of specific computers needed to help us toward our goal. Analytic techniques include detailed field theory analysis (perturbation theory at a very large number of orders, very accurate 1/N computations), together with computations based on a deep understanding of critical phenomena. Also non-perturbative techniques play a crucial role in this approach.

In such a difficult situation, where frequently analytic approaches are not enough, the use of numerical techniques that accompany and

clarify the analytic results is sometimes crucial. Our groups use a large amount of computer and computer time, and develop new algorithm and methods of numerical simulation.

A direct implication of this path is that our groups are also directly involved (as an important part of our project) in developing computers whose design is optimized for our problems. This research line also has important consequences as a high level technological transfer.

We quote at last some of the most relevant synergies among our groups: we have indeed a long tradition of joint productive work, that we hope will grow with this project. We think here, for example (quoting only some of the most important connections among our groups), to the relations among La Sapienza - Pisa - Milan on field theory method, to the relations La Sapienza - Ferrara (in an European framework) for designing dedicated computers and to the relation Tor Vergata - Ferrara as far as studying turbulence is concerned.

1.4 Durata del Programma di Ricerca 24 Mesi

1.5 Settori scientifico-disciplinari interessati dal Programma di Ricerca

FIS/02 - Fisica teorica, modelli e metodi matematici

1.6 Parole chiave

Testo italiano

COMPLESSITA' ; SISTEMI DISORDINATI ; TEORIA DEI CAMPI ; OTTIMIZZAZIONE ; FENOMENI CRITICI ; POLIMERI ; TURBOLENZA ; CALCOLATORI ; VETRI DI SPIN

Testo inglese

COMPLEXITY ; DISORDERED SYSTEMS ; FIELD THEORY ; OPTIMIZATION ; CRITICAL PHENOMENA ; POLYMERS ; TURBULENCE ; COMPUTERS ; SPIN GLASSES

1.7 Coordinatore Scientifico del Programma di Ricerca

PARISI **GIORGIO**

Professore Ordinario **04/08/1948** **PRSGRG48M04H501M**

FIS/02 - Fisica teorica, modelli e metodi matematici

Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"

Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI

Dipartimento di FISICA

06/49913481	**06/4463158**	**Giorgio.Parisi@roma1.infn.it**
(Prefisso e telefono)	(Numero fax)	(Email)

1.8 Curriculum scientifico

Testo italiano

Giorgio Parisi e' nato a Roma il 4 agosto 1948, ed ha compiuto gli studi universitari a Roma, laureandosi in fisica nel 1970, sotto la direzione di Nicola Cabibbo.

Ha svolto la sua attivita' di ricerca presso i Laboratori nazionali di Frascati, prima come borsista del Consiglio Nazionale delle Ricerche (1971-1973) e successivamente come ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare(1973-1981). In questo periodo ha effettuato lunghi soggiorni all'estero: Columbia University, New York (1973-1974), IHES, Bures-sur-Yvettes (1976-1977), Ecole Normale Superieure, Paris (1977-1978).

E' (o e' stato) membro dei comitati di redazione di numerose riviste (Nuclear Physics,Communications in Mathematical Physics, Journal of Statistical Mechanics, Europhysics Letters, International Journal of Physics, Il Nuovo Cimento, Journal de Physique), dei consigli scientifici dell'Institut des Hautes Etudes Scientifiques, dell'Ecole Normale Superieure (per quanto riguarda la Fisica), della Scuola

Normale di Pisa (classe di scienze), della SISSA di Trieste, dell'Human Frontiers Science Program Organization, dei comitati consultivi del CUN, della Scuola di Fisica di Les Houches e dell'INFM.

Chiamato quale professore di ruolo nell'universita' di Roma nel febbraio 1981, e' stato dal 1981 al 1992 Professore di Istituzioni di Fisica Teorica presso l'Università di Roma II, Tor Vergata. Attualmente (dal 1992) e' professore di Teorie quantistiche presso l'Università di Roma "La Sapienza". Dal 1987 e' socio corrispondente e dal 1993 socio nazionale dell'Accademia dei Lincei; dal 1992 e'socio straniero della Accademia Francese. Nel 1992 ha ricevuto la medaglia Boltzmann (assegnata ogni tre anni dalla I.U.P.A.P. per la termodinamica e la meccanica statistica) per i suoi contributi alla teoria dei sistemi disordinati. Nel 1999 ha ricevuto la medaglia Dirac per la fisica teorica. Nel 2003 e' diventato membro della "National Academy of Sciences" degli USA.

Testo inglese

He graduated from Rome University in 1970, the supervisor being Nicola Cabibbo. He has worked as researcher at the Laboratori Nazionali di Frascati from 1971 to 1981. In this period he has been in leave of absence from Frascati at the Columbia University, New York (1973-1974), at the Institut des Hautes Etudes Scientifiques (1976-1977) and at the Ecole Normale Superieure, Paris (1977-1978).

He became full professor at Rome University in 1981, from 1981 he was to 1992 full professor of Theoretical Physics at the University of Roma II, Tor Vergata and he is now professor of Quantum Theories at the University of Rome I, La Sapienza. He received the Feltrinelli prize for physics from the Accademia dei Lincei in 1986, the Boltzmann medal in 1992, the Italgas prize in 1993, the Dirac medal and prize in 1999. In 1987 he became correspondent fellow of the Accademia dei Lincei and fellow in 1992; he is also fellow of the French Academy from 1993.

He gave in 1986 the Loeb Lectures at Harvard University, in 1987 the Fermi lectures at the Scuola Normale (Pisa) in 1993 the Celsius lectures at Upsala University.

He is (or he has been) member of the editorial board of many reviews (Nuclear Physics Field Theory and Statistical Mechanics, Communications in Mathematical Physics, Journal of Statistical Mechanics, Europhysics Letters, International Journal of Physics, Il Nuovo Cimento, Networks, Journal de Physique, Physica A, Physical Review E) and of the scientific committees of the Institut des Hautes Etudes Scientifiques, of the Ecole Normale Superieure (Physique), of the Scuola Normale (Pisa), of the Human Frontiers Science Program rganization, of the scientific committee of the INFM and of the French National Research Panel and head of the Italian delegation at the IUPAP. In 2003 he became member of the USA National Academy of Sciences.

1.9 Pubblicazioni scientifiche più significative del Coordinatore del Programma di Ricerca

1. A. PAGNANI; PARISI G.; M. RATIEVILLE (2003). **Near optimal configurations in mean field disordered systems** PHYSICAL REVIEW E. (vol. 68 pp. 046706) cond-mat/0307250.
2. A. CRISANTI; L. LEUZZI; PARISI G.; T. RIZZO (2003). **Complexity of the Sherrington-Kirkpatrick Model in the Annealed Approximation** PHYSICAL REVIEW B. (vol. 68 pp. 174401) cond-mat/0307082.
3. T. S. GRIGERA; V. MARTINMAYOR; PARISI G.; P. VERROCCHIO (2003). **Phonons in supercooled liquids: a possible explanation for the Boson Peak** NATURE. (vol. 422 pp. 289) cond-mat/0301103.
4. M. MEZARD; PARISI G. (2003). **The cavity method at zero temperature** JOURNAL OF STATISTICAL PHYSICS. (vol. 111 pp. 1) cond-mat/0207121.
5. CAVAGNA A.; GIARDINA I.; GRIGERA T.; PARISI G. (2002). **Geometric Approach to the Dynamic Phase Transition** PHYSICAL REVIEW LETTERS. (vol. 88 pp. 055502-055504)

1.10 Elenco delle Unità di Ricerca

nº	Responsabile Scientifico	Qualifica	Settore Disc.	Università	Dipartimento	Mesi Uomo
1.	CARACCIOLO SERGIO	Professore Ordinario	FIS/02	MILANO	FISICA	17
2.	MARRA ROSSANA	Professore Ordinario	MAT/07	ROMA "Tor Vergata"	FISICA	22
3.	PARISI GIORGIO	Professore Ordinario	FIS/02	ROMA "La Sapienza"	FISICA	12
4.	TRIPICCIONE RAFFAELE	Professore Ordinario	FIS/02	FERRARA	FISICA	17
5.	VICARI ETTORE	Professore Associato	FIS/02	PISA	FISICA	22

1.11 Mesi uomo complessivi dedicati al programma

		Numero	Mesi uomo 1° anno	Mesi uomo 2° anno	Totale mesi uomo
Personale universitario dell'Università sede dell'Unità di Ricerca		13	118	110	228
Personale universitario di altre Università		2	22	22	44
Titolari di assegni di ricerca		5	36	32	68
Titolari di borse	Dottorato	8	84	75	159
	Post-dottorato	7	54	62	116
	Scuola di Specializzazione	0			

Personale a contratto	Assegnisti	4	32	39	71
	Borsisti	1	11	11	22
	Dottorandi	1	11	11	22
	Altre tipologie	2	7	7	14
Personale extrauniversitario		13	81	79	160
TOTALE		**56**	**456**	**448**	**904**

PARTE II

2.1 Obiettivo del Programma di Ricerca

Testo italiano

Cercheremo qui di essere estremamente sintetici, rimandando alle descrizioni del programma di ricerca ed ai singoli moduli B per i dettagli dei nostri obiettivi.

In questo programma di ricerca studiamo un gran numero di sistemi di alta complessita', che presentano delle sfide aperte e la cui comprensione puo' costituire un vero passo in avanti. Per far questo utilizziamo vari approcci propri della fisica teorica, che cerchiamo di coordinare e rendere sinergetici.

I problemi per noi rilevanti riguardano sistemi disordinati, lo stato amorfo, dinamiche complesse fuori dall'equilibrio, problemi di ottimizzazione, fenomeni socio-economici, sistemi biofisici, modelli di spin e teorie di gauge in teoria dei campi, fluidodinamica e turbolenza, costruzione di hardware dedicato allo studio di sistemi reticolari, fenomeni di interfaccia: una gran varieta', come si vede, di problemi, tutti legati da una storia comune e dal fatto che implicano comportamenti di alta complessita', rari nell'approccio fisico abituale.

Abbiamo quindi una varieta' di problemi legati fra loro, ed una quantita' di possibili approcci, a loro volta legati fra loro ed estremamente interdipendenti. Parliamo di tecniche analitiche classiche come teoria delle perturbazioni e sviluppi di grandi N, di tecniche numeriche come simulazioni Monte Carlo a temperatura finita (con algoritimi ottimizzati) ma anche di calcoli di configurazioni di stati fondamentali (spesso non banali in sistemi complessi) ed uso di complesse tecniche di ottimizzazione, o addirittura lo sviluppo di computers straordinariamente ottimizzati per i nostri problemi (per raggiungere ed analizzare scale di tempi veramente lunghe).

Andiamo ora in dettaglio un pochino maggiore.

Diamo una breve lista dei punti cardine del nostro programma di lavoro

** Descrizione della dinamica di fuori equilibrio in sistemi vetrosi **

Contiamo di migliorare ed estendere alcuni schemi di approssimazione della dinamica di fuori equilibrio per i quali recentemente e' stata mostrata l'efficacia in alcuni casi semplici.

** Ricerca delle soluzioni ottimali per un generico problema combinatorio duro. **

** Descrizione delle proprieta' termodinamiche di un vetro di spin in dimensioni finite. Riproduzione e comprensione degli effetti di ringiovanimento e memoria. **

Grazie alla crescita esponenziale delle capacita' di calcolo dei computers, riteniamo che nei prossimi anni si potrebbe incominciare a rispondere ad alcuni domande sui vetri di spin 3-dimensionali che fino ad oggi sono rimaste senza risposta.

** Vetri strutturali e transizione vetrosa **

Nuove simulazioni numeriche sono necessarie per verificare se l'approccio teorico recentemente formulato da noi parta da ipotesi che sono effettivamente verificate in sistemi realistici.

** Limite di metastabilita' nei liquidi sottoraffreddati **

La nostra intenzione e' di studiare in futuro quale e' il ruolo

giocato dalla elasticita' nei liquidi sottoraffreddati, e in quale misura l'elasticita' puo' inibire l'esistenza del limite di metastabilita'.

** Supersimmetria e complessita' nei vetri di spin **

** Modellizzazione e analisi di fenomeni socio economici **

Abbiamo da poco acquisito un pool molto ricco di dati ad alta frequenza di svariati mercati finanziari sia europei che americani. Su di essi verra' intrapresa un'analisi approfondita volta a caratterizzare vari aspetti del comportamento statistico dei prezzi ad alte frequenze.

1.Minority-like models.

2. Fluttuazioni anomale nei mercati finanziari.

3. Modelli di traffico.

4. Origine delle leggi macroeconomiche nel modello dell'equilibrio generale (Walrasiano).

5. Origine dei linguaggi.

** Applicazione di metodi di teoria dei campi **

Nei prossimi anni intendiamo studiare con tecniche Monte Carlo e di teoria dei campi sistemi complessi rilevanti per la fisica dei cuprati, estendere lo studio dei modelli chirali con simmetria O(n)*O(m) includendo la struttura multicritica, rilevante per gli antiferromagneti su reticoli a strati triangolari in presenza di campo magnetico, e studiare sistemi con anisotropia casuale.

** Uso di Metodi di Ottimizzazione per il Calcolo Esatto di Funzioni di Partizione **

** Studio di Sistemi Biofisici. Unzipping del DNA **

** Calcolatori dedicati **

Lo scopo principale e' lo sviluppo della architettura di un sistema di simulazione di spin-glass in grado di raggiungere il livello di performance sopra accennato e di realizzare (ed utilizzare per simulazioni fisiche) un piccolo prototipo (ad esempio pari al' 1% del sistema definitivo).

** Segregazione e moto di interfacce **

1) Effetti idrodinamici.

2) Trasporto di massa.

** Turbolenza **

1) Turbolenza Lagrangiana.

2) Magnetohydrodynamic Turbulence

3) Trasporto di particelle inerziali.

4) Drag reduction.

5) Lattice Boltzmann Equation.

** Classe di universalita' chiral in sistemi a N componenti con pattern di rottura di simmetria O(N)->O(N-2) **

** Elettrodinamica scalare **

** Meccanica quantistica supersimmetrica di Yang-Mills **

** Modelli supersimmetrici sul reticolo in formalismo Hamiltoniano **

** Comportamento critico di modelli sigma in due dimensione quando il gruppo di simmetria non abeliano e' continuo o discreto **

** Modello classico con interazione generica invariante O(N) **

** Algoritmi per lo studio di polimeri **

** Fenomeni di trasporto e di organizzazione per distemi di microtubuli

forzati **

** Sistemi di propulsione nelle cellule eucariote: cilia e flagelli **

Testo inglese

We will try to keep very short this text, and we ask the reader to look at the description of the research program and to the individual B forms for more details.

In this research program we study a large number of systems of high complexity, that are an open challenge: understanding them would be a real step forward. To do that we use different approaches typical of theoretical physics, that we try to coordinate and make synergistic.

Problems that are relevant for us include disordered systems, the amorphous state, complex out of equilibrium dynamics, optimization problems, socio-economical problems, biophysical systems, spin models and gauge theories in field theory, fluidodynamics and turbulence, construction of hardware dedicated to the study of lattice systems, interface phenomena: a large variety, as one can see, of problems, related by a common history ed from the fact that they imply behaviors of high complexity, that are rare in the usual physics approaches.

We have a number of problems strongly related, and a number of possible approaches, also related: one approach can be useful only together with others. We have in mind here classical analytic techniques like perturbation theory and large N developments, numerical techniques like finite temperature Monte Carlo simulations (with optimized algorithms) and computations of ground state configurations (that are frequently non trivial in complex systems), or even development of computers dramatically optimized toward our goals (to reach and analyze very long time scales).

Let us go now to a slightly better detail.

We give a short list of the main points of our working plan.

** Out of equilibrium dynamics for glassy systems **

We plan to improve and to extend some approximation schemes for the out of equilibrium dynamics, which have been recently found useful in relatively simple models.

** Search for optimal solutions to a hard combinatorial problem **

** Thermodynamical properties of finite-dimensional spin glasses. Rejuvenation and memory effects **

Thanks to the exponential growth of available computational resources, we believe that in the next years some old questions on 3-dimensional spin glasses could be finally answered.

** Structural glasses and the glass transition **

New numerical simulations are necessary in order to verify whether the theoretical approach we formulated is in fact starting from realistic hypothesis.

** Metastability limit in supercooled liquids **

Our project is to study what is the role played by elasticity in supercooled liquids, and to what extent elasticity may suppress the metastability limit.

** Supersymmetry and complexity in spin-glasses **

** Modeling and analysing socio-economical phenomena **

We have recently acquired a very rich pool of high frequency data of different European and American financial markets. We plan to analyze these data with different statistical techniques to characterize the behaviour of prices at high frequencies.

1. Minority-like models.

2. Anomalous fluctuations in financial markets.

3. Traffic models.

4. Origin of macroeconomic laws in Walrasian equilibrium.

5. Origin of languages.

** Field Theory **

In the next years we plan to use Monte Carlo and field-theory methods for the study of complex systems that are relevant for the physics of cuprates, of the multicritical behavior of chiral systems with symmetry O(n)*O(m)---this is relevant for antiferromagnets on stacked triangular lattices in the presence of a magnetic field---and of systems with random anisotropy.

** Optimization Methods for Exact Computations of Partition Functions **

** Biophysics. DNA Unzipping **

** Dedicated computers **

The main goal of the present project is the development of the architecture of a new generation Ising model/Spin Glass simulation engine capable to reach the performance level described above, and the actual realization of a prototype (with a computing power of the order of approximately 1% of the target performance).

** Phase segregation and interface motion **

1) Hydrodynamic effects.

2) Mass transport.

** Turbulence **

1) Lagrangian Turbulence.

2) MagnetoHydroDynamics Turbulence

3) Lagrangian properties of inertia particles.

4) Drag reduction.

5) Lattice Boltzmann Equations.

** Chiral universality class in N-component spin systems with symmetry-breaking pattern O(N)->O(N-2) **

** Scalar electrodynamics **

** Supersymmetric Yang-Mills quantum mechanics **

** Lattice supersymmetric models in the Hamiltonian formulation **

** Critical behaviour of 2-dimesional sigma models when the nonabelian symmetry is discrete or continuous **

** Classical O(N) model with generic interaction **

** Numerical algorithms to simulate polymers **

** Transport and organization phenomena for systems of driven microtubules **

** Propulsive systems of eukaryotic cells: cilia and flagella **

2.2 Base di partenza scientifica nazionale o internazionale

Testo italiano

Anche in questa descrizione cercheremo di limitarci alla discussione degli elementi principali della nostra ricerca. Ricorderemo alcuni dei punti di partenza della nostra ricerca. Rimandiamo ai moduli B ed alla descrizione dettagliata della sola fase di ricerca di questo programma per maggiori dettagli. Consideriamo questa parte come un indice breve dello stato delle cose, che approfondiamo nella descrizione della fase 1.

** Descrizione della dinamica di fuori equilibrio in sistemi vetrosi. **

Un sistema vetroso e‘ un generico insieme di un gran numero di variabili che interagendo tra di loro tendono a rilassare verso uno stato di bassa energia, ma attraverso una dinamica che presenta un’ampia gamma di tempi di rilassamento (dai picosecondi alle migliaia di anni).

** Ricerca delle soluzioni ottimali per un generico problema combinatorio duro. **

Un problema combinatorio consiste nell'assegnazione dei valori ad un grande numero di variabili, tale che tutti o il maggior numero dei vincoli siano soddisfatti.

** Descrizione delle proprieta' termodinamiche di un vetro di spin in dimensioni finite. Riproduzione e comprensione degli effetti di ringiovanimento e memoria. **

I risultati teorici non riescono ancora a spiegare la gran parte dei fenomeni osservati.

** Vetri strutturali e transizione vetrosa. **

Negli ultimi anni abbiamo sviluppato una teoria per la transizione dinamica nei vetri strutturali. C'e' comunque ancora molto da fare.

** Limite di metastabilita' nei liquidi sottoraffreddati. **

Il limite di basse temperature non e' ancora ben compreso.

** Supersimmetria e complessita' nei vetri di spin. **

L'uso di metodi teorici potenti sta aiutando a comprendere la complssita' di questi modelli.

** Modellizzazione e analisi di fenomeni socio economici. **

Modelli di agenti in interazione cominciano a funzionare ed a rendere conto di realta' complesse.

** Applicazione di metodi di teoria dei campi **

Siamo in grado di effettuare calcoli ad un alto numero di loops, ed ad interpretarli in modo consistente.

** Uso di Metodi di Ottimizzazione per il Calcolo Esatto di Funzioni di Partizione **
Siamo in grado di calcolare esattamente funzioni di partizione di vetri di spin reticolari in 2d 100x100.

** Studio di Sistemi Biofisici. Unzipping del DNA **

Il carattere di dinamica lenta dei processi di unzipping e' stato ben capito.

** Omopolimeri in fase collassata ed eteropolimeri vicini alla temperatura di ripiegamento **

Esistono oggi potenti algoritmi di simulazione numerica.

** Modellizzazione di sistemi biologici concernenti il citoscheletro **

Abbiamo studiato modelli dettagliati.
Abbiamo lavorato anche in contatto con gruppi sperimentali.

** Calcolo parallelo e computer ottimizzati e dedicati **

Abbiamo contribuito allo sviluppo ed alla utilizzazione di sistemi di calcolo dedicati, dando contributi in aree diverse:

- il progetto APE ha prodotto varie generazioni di sistemi di calcolo massicciamente parallelo, utilizzati per la simulazione numerica delle teorie di gauge sul reticolo. L' ultima versione di APE (apeNEXT) e' attualmente in fase di test e mettera' a disposizione a breve una potenza di calcolo di parecchi Tflops.

-tecniche derivate dalla Lattice Boltzmann Equation (LBE) sono state utilizzate per la soluzione numerica di sistemi fluidi, descritti dalle equazioni di Navier-Stokes. Questa tecnica di calcolo ben si adatta a calcolatori massicciamente paralleli. Dall' analisi dei risultati di simulazione ottenuti, sono state derivate importanti proprieta' di scala dei sistemi turbolenti, anche in regime convettivo.

-Sono state studiate tecniche di calcolo parallelo per l' analisi di segnali di onde gravitazionali, rilevabili da rivelatori interferometrici.

-Gruppi in stretto contatto con noi hanno sviluppato sistemi dedicati (la macchina SUE), semplici ma estremamente potenti, per la simulazione di sistemi di spin.

** Turbolenza e transizioni di fase nei fluidi **

Abbiamo una lunga esperienza nello studio di due importanti argomenti della fisica dei sistemi complessi: turbolenza e transizioni di fase nei fluidi, che hanno in comune il tentativo di capire come comportamenti collettivi e strutture di larga scala emergano in sistemi costituiti da un gran numero di gradi di liberta'. Negli ultimi anni i nostri gruppi hanno portato avanti dei progetti di

ricerca riguardanti la segregazione di fase nei fluidi e la turbolenza anisotropa in collaborazione con ricercatori di diverse universita' e nazionalita': Rutgers University, Atlanta University, Livermore Lab (USA), Universita' de L'Aquila, del Weizmann Institute of Science (Israel), dell'INLN, CNRS (Francia) e dell'Universita' di Torino.

** Teorie di campo quantistiche e gruppo di rinormalizzazione **

Le teorie di campo quantistiche e la teoria del gruppo di rinormalizzazione permettono di descrivere fenomeni fisici molto diversi, come le interazioni fondamentali della natura (cromodinamica quantistica, modello standard) e i fenomeni critici in meccanica statistica (per esempio la transizione superfluida in He4). Nella nostra attivita' di ricerca ci siamo interessati ad entrambi i campi di studio, in particolare alla cromodinamica quantistica nell'ambito delle interazioni fondamentali e a vari fenomeni critici, dalla transizione in He4 a sistemi piu' complessi, nell'ambito della meccanica statistica.

** Sistemi con gruppi di invarianza non abeliana **

In particolare ci siamo interessati di modelli sigma in due dimensioni.

Testo inglese

Also in this description we will only give a short discussion of the main elements of our research. We will quote some of the starting points of our work. The interested reader can use the B forms and the detailed description of the only phase of this program for getting more details. We consider this part as a short summary of the state of the art, that we analyze in better deepness in description of phase one of the project.

** Description of out of equilibrium dynamics in glassy systems **

A glassy system is a generic aggregate of a large number of degrees of freedom that interact strongly among them and tend to relax toward low energy states via a dynamics having a broad spectrum of relaxing time scales (from picoseconds to thousands of years).

** Search for optimal solutions to a hard combinatorial problem **

A combinatorial problem consist in assigning values to a large number of variables such that all or most constraints are satisfied.

** Thermodynamical properties of finite-dimensional spin glasses. Rejuvenation and memory effects **

Theoretical results cannot yet explain the most part of observed phenomena.

** Structural glasses and the glass transition **

In the last few years we developed a theory for the dynamic glass transition in structural glasses. Still, there i s lot of work to do.

** Metastability limit in supercooled liquids **

The low T limit is not well understood.

** Supersymmetry and complexity in spin-glasses **

The use of powerful theoretical methods is helping in understanding the complexity of these models.

** Modeling and analyzing socio-economical effects **

Models of interacting agents start to work and to explain complex situations.

** Field Theory **

We can do computation at a high number of loops, and we are able to interpret them consistently.

** Optimization Methods for Exact Computations of Partition Functions **

We can compute exactly partition function of lattice spin glass in 2d for sizes up to 100x100.

** Biophysics. DNA Unzipping **

The unzipping process has been well understood as a slow and glassy dynamics.

** Homopolymers in the collapsed phase and heteropolymers close to the crumpling temperature **

Today we have powerful algorithms for numerical simulations.

** Modelisation of biological systems of cytoskeleton **

We have studied detaield models.
We have also been working together with experimental groups.

** Parallel computing and optimized and dedicated hardware **

Members of the present project, working at several of the universities involved, have worked, very often in important roles, in the development of several projects of the type mentioned above, such as:

- the APE project has developed several versions of the massively parallel APE processor, tailored to Lattice Gauge Theory Simulations. The latest APE version (apeNEXT) is currently under test and is expected to provide multi-Tflops performance in the near future.

- the Lattice Boltzmann Equation approach (LBE) has been used to solve the Navier-Stokes equation in a turbulent regime on massively parallel processors. Important scaling properties of the system, also in the case of coupling to temperature have been exhibited and explained.

- Techniques for massively parallel analysis of signals coming from sources of gravitational waves have been considered and the use of APE-like machines for the purpose has been proposed.

- Very simple yet extremely powerful systems (the SUE machine), based on reconfigurable hardware, have been developed to simulate Ising or Spin-Glass systems by a research group strictly connected with tis research unit.

** Turbulence and phase transition in fluids **

Our research teams have a long experience in the study of two topics in the physics of complex systems: turbulence and phase transition in fluids, which share the effort of understanding how collective behaviors and large scale structures arise in systems of many degrees of freedom, by using common analytical and numerical methods. In the last years the teams have been involved in research projects concerning phase segregation in alloys and fluids and anisotropic turbulence in collaboration with researchers from different laboratories and Universities: Rutgers University, Georgia Tech university, Livermore Laboratory (USA), Universita‘ de L’Aquila, Weizmann Institute of Science (Israel), INLN, CNRS, in France and Universita’ di Torino.

** Quantum Field Theory and Renormalization Group **

Quantum Field Theories and Renormalization Group Theory can be used to describe very different physical phenomena, including fundamental interactions (Quantum Chromodynamics, Standard Model) and critical phenomena in statistical mechanics (e.g., the superfluid transition in He4). In our research activity, we pursued both fields of study, and in particular Quantum Chromodynamics within fundamental interactions, and several critical phenomena, from the transition in He4 to more complex systems, within statistical mechanics.

** Systems with non-abelian symmetry groups **

In particular we have worked on non-linear sigma models in two dimensions.

2.2.a Riferimenti bibliografici

Alcune fra le nostre pubblicazioni rcenti:/some among our recent papers.

S. Franz, M. Leone, A. Montanari e F. Ricci-Tersenghi
Physical Review E 66, 046120 (2002)

A.K. Hartmann e F. Ricci-Tersenghi
Phys. Rev. B 66, 224419 (2002).

W. Barthel, A.K. Hartmann, M. Leone, F. Ricci-Tersenghi, M. Weigt e R. Zecchina
Phys. Rev. Lett. 88, 188701 (2002).

E. Marinari, A. Pagnani e F. Ricci-Tersenghi
Phys. Rev. E 65, 041919 (2002).

A. Braunstein, M. Leone, F. Ricci-Tersenghi e R. Zecchina
J. Phys. A 35, 7559 (2002).

M. Marsili, R. Mulet e F. Ricci-Tersenghi
Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 521, 61 (2003).

M. Mezard, F. Ricci-Tersenghi e R. Zecchina
J. Stat. Phys. 111, 505 (2003).

A. Montanari e F. Ricci-Tersenghi.
Physical Review Letters 90, 017203 (2003)

A. Montanari e F. Ricci-Tersenghi.
The European Physical Journal B 33, 339 (2003)

A. Montanari e F. Ricci-Tersenghi.
Physical Review B 68, 224429 (2003)

T. Castellani, V. Napolano, F. Ricci-Tersenghi e R. Zecchina
J. Phys. A. 36, 11037 (2003)

F. Ricci-Tersenghi
Phys. Rev. E 68, 065104(R) (2003).

A. Montanari, G. Parisi e F. Ricci-Tersenghi.
J. Phys. A 37, 2073 (2004)

C. Godreche, F. Krzakala e F. Ricci-Tersenghi
J. Stat. Mech. (2004)

A. J. Bray, A. Cavagna, R. D. M. Travasso
Phys. Rev. E 65, 016104 (2002).

T. S. Grigera, A. Cavagna, I. Giardina and G. Parisi
Phys. Rev. Lett. 88, 055502 (2002).

A. Cavagna, I. Giardina and T. S. Grigera
Europhys. Lett. 61, 74 (2003).

A. Cavagna, I. Giardina and T. S. Grigera
J. Chem. Phys. 118, 6974 (2003).

A. Cavagna, I. Giardina, G. Parisi and M. Mezard
J. Phys. A: Math. Gen. 36, 1175 (2003).

A. Annibale, A. Cavagna, I. Giardina, G. Parisi
Phys. Rev. E 68, 061103 (2003).

A. Annibale, A. Cavagna, I. Giardina, G. Parisi, E. Trevigne
J. Phys. A: Math. Gen. 36, 10937 (2003).

A. Cavagna, I. Giardina and T. S. Grigera
J. Phys. A: Math. Gen. 36, 10937 (2003).

Andrea Cavagna, Irene Giardina, Giorgio Parisi
Phys. Rev. Lett. (2004).

I. Giardina, J-P Bouchaud, Eur. Phys. J. B 31 421 (2003)

A. De Martino, I. Giardina and G. Mosetti, J. Phys. A: Math. Gen. 36
8935 (2003)

A. De Martino, Eur. Phys. J. B 35 143 (2003)

A. De Martino, M. Marsili and R. Mulet, Europhys. Lett. 65 283 (2004)

A. De Martino, M. Marsili and I. Perez Castillo, Macroecon. Dyn. (to
appear, 2004)

D. Challet, A. De Martino and M. Marsili, Physica A (to appear, 2004)

A. De Martino, M. Marsili and I. Perez Castillo, J. Stat. Mech. (to
appear, 2004)

M. Caselle, M. Hasenbusch, A. Pelissetto, and E. Vicari,
J. Phys. A 35 (2002) 4861-4888.

A. Pelissetto, P. Rossi, and E. Vicari,
Physical Review B 65 (2002) (Rapid Communications) 020403(R), pp. 1-4.

P. Calabrese, A. Pelissetto and E. Vicari,
Physical Review E 65 (2002) 046115, pp. 1-16.

S. Caracciolo, M. Papinutto, and A. Pelissetto,
Physical Review E 65 (2002) 031106, pp. 1-15.
Selezionato da Virtual Journal of Biological Physics Research 3,
March 1, 2002.

M. Campostrini, M. Hasenbusch, A. Pelissetto, P. Rossi, and E. Vicari,
Physical Review B 65 (2002) 144520, pp. 1-21.

P. Calabrese, A. Pelissetto and E. Vicari,
Journal of Chemical Physics 116 (2002) 8191-8197.

M. Campostrini, A. Pelissetto, P. Rossi, and E. Vicari,
Physical Review E 65 (2002) 066127, pp. 1-19.

V. Martin-Mayor, A. Pelissetto, and E. Vicari,
Physical Review E 66 (2002) 026112, pp. 1--9.

S. Caracciolo and A. Pelissetto,
Physical Review E 66 (2002) 016120, pp. 1-4.

A. Pelissetto and E. Vicari,
Physics Reports 368 (2002) 549-727.

S. Caracciolo, A. Montanari and A. Pelissetto,
Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 106 (2002) 902-904.

S. Caracciolo, A. Pelissetto and A. Rago,
Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 106 (2002) 835-837.

M. Campostrini, M. Hasenbusch, A. Pelissetto, P. Rossi, and E. Vicari,
Physica A 314 (2002) 177-181.

P. Calabrese, V. Martin-Mayor, A. Pelissetto, and E. Vicari,
Physical Review E 68 (2003) 016110, pp. 1-11.

M. De Prato, A. Pelissetto, and E. Vicari,
Physical Review B 68 (2003) 092403, pp. 1-4.

S. Caracciolo, A. Gambassi, M. Gubinelli, and A. Pelissetto,
European Physical Journal B 34 (2003) 205-217.

R. Tripiccione, PARALLEL COMPUTING. 25 (1999) 1297.

A. Bartoloni et al., INT. JOURNAL OF MOD. PHYSICS C4 (1993) 993.

E. Calzavarini et al., COMPUTER PHYSICS COMMUNICATIONS, 152 (2003) 295.

A. Cruz et al., cond-mat/0004080

S.Bastea, R.Esposito; J.L. Lebowitz; R .Marra.
Phys.Rev.letters 89 pp.
235701--235704 (2003)

R. Esposito, J. L. Lebowitz and R .Marra
Phys. of Fluids, 11, 2354--2366 (1999)

S. Bastea, R. Esposito, J.L. Lebowitz and R. Marra
J. Stat. Phys. 101, 1087--1136 (2000)

L. Biferale.
Ann. Rev. Fluid. Mech. 35 p. 441 (2003)

L. Biferale, E. Calzavarini, F. Toschi and R. Tripiccione
Europhys. Lett. 64, p. 461, (2003)

J. Boris, L. Biferale, G. Iugo and C.M. Casciola Phys. Fluids submitted
2004. nlin.CD/0402054

L. Biferale and I. Procaccia Phys. Rep. submitted 2004.

L. Biferale, A. Lanotte and F. Toschi Phys. Rev. Lett. 92, 094503
(2004).

L. Biferale, M. Cencini, A. Lanotte, M. Sbragaglia and F. Toschi New
Journ. Physics in press (2004). nlin.CD/0401020

L. Biferale, G. Boffetta, A. Celani, A. Lanotte and F. Toschi
Phys. Rev. Lett. submitted (2004) nlin.CD/0402032.

L. Biferale, G. Boffetta, A. Celani, A. Lanotte and F. Toschi Phys. Rev.
Lett. submitted (2004)

G. Boffetta, B. Devenish, A. Celani, A. Lanotte and F. Toschi
Phys. Rev. Lett. submitted (2004).

R. Benzi, E. S. C. Ching, N. Horesh, and I. Procacci
Phys. Rev. Lett. 92, 078302 (2004)

R. Benzi and I. Procaccia
Phys. Rev. E 68, 025303 (2003)

R. Benzi, L. Biferale and M. Sbragaglia J. Stat. Phys. 114 (1-2) 137, 2004.

R. Benzi, L. Biferale and F. Toschi J. Stat. Phys. 113 (5) 783, 2003.

M. Campostrini,
J. Stat. Phys. 103 (2001) 369

P. Calabrese, P. Parruccini, A. I. Sokolov,
Phys.Rev. B66 (2002) 180403.

P. Calabrese, A. Gambassi
Phys. Rev. B 66, 212407 (2002)

P. Calabrese, A. Gambassi,
Phys.Rev. E66 (2002) 066101

P. Calabrese, A. Gambassi,
Phys.Rev. E65 (2002) 066120

C. Alexandrou, E. Follana, H. Panagopoulos, E. Vicari,
Nucl. Phys. B 580 (2000) 394-406.

L. Del Debbio, H. Panagopoulos, P. Rossi, and E. Vicari,
Phys. Rev. D 65 (2002) 021501(R).

L. Del Debbio, H. Panagopoulos, P. Rossi, and E. Vicari,
JHEP 01 (2002) 09.

S. Profumo, E. Vicari,
JHEP 05 (2002) 014.

L. Del Debbio, H. Panagopoulos, E. Vicari,
JHEP 08 (2002) 044.

L. Del Debbio, H. Panagopoulos, E. Vicari,
JHEP 09 (2003) 034.

M. Campostrini, J. Wosiek,
Phys. Lett. B 550 (2002) 121.

M. Campostrini, P. Parruccini, P. Rossi,
Phys. Rev. E 67 (2003) 046121.

M. Beccaria, M. Campostrini, A. Feo,
Phys. Rev. D in press, hep-lat/0402007.

M. Campostrini, M. P. Lombardo, E. Pederiva, editors,
Proceedings of the Quantum Monte Carlo meeting,
Trento (Italy), July 2001; edizioni ETS, Pisa, 2001.

2.3 Numero di fasi del Programma di Ricerca: 1

2.4 Descrizione del Programma di Ricerca

Fase 1
Durata e costo previsto

	Mesi		Euro
Durata	24	**Costo previsto**	587.200

Descrizione

Testo italiano
Descriveremo qui la prima fase di ricerca del nostro programma, che coincide con il programma intero, indicandone motivazioni e ragioni. Indicheremo poi nella prossima sezione i risultati attesi.

Cominciamo discutendo di fisica dei sistemi disordinati, uno dei punti chiave della nostra ricerca.

Lo studio delle proprieta‘ dei sistemi disordinati e/o frustrati nella fase di vetro di spin continua ad attrarre un grande interesse da parte della comunita‘ scientifica. Analizzeremo qui i vari campi principali, sia per quel che riguarda le applicazioni fisiche di eccellenza che per quel che riguarda un uso paradigmatico di questi metodi. Il forte rapporto fra metodi di meccanica statistica dei

sistemi disordinati e teoria dei campi, fra approcci analitici e numerici, ed il rapporto con l'uso intenso di computers anche specializzati ai nostri scopi e' una caratteristica determinante di questo COFIN.

** Descrizione della dinamica di fuori equilibrio in sistemi vetrosi. **

Un sistema vetroso e' un generico insieme di un gran numero di variabili che interagendo tra di loro tendono a rilassare verso uno stato di bassa energia, ma attraverso una dinamica che presenta un'ampia gamma di tempi di rilassamento (dai picosecondi alle migliaia di anni). La descrizione anche approssimata di una tale dinamica e' particolarmente complicata.

** Ricerca delle soluzioni ottimali per un generico problema combinatorio duro. **

Un problema combinatorio consiste nell'assegnazione dei valori ad un grande numero di variabili, tale che tutti o il maggior numero dei vincoli siano soddisfatti. Inutile dire che la soluzione di problemi cosi' generali avrebbe un'applicazione vastissima. Quando problemi di questo tipo vengono affrontati con le tecniche della meccanica statistica, si scopre che essi corrispondono a modelli frustrati.

** Descrizione delle proprieta' termodinamiche di un vetro di spin in dimensioni finite. Riproduzione e comprensione degli effetti di ringiovanimento e memoria. **

Nonostante i quasi 30 anni di studi numerici e analitici, non e' ancora chiaro il tipo di rottura di simmetria che avviene nella fase di bassa temperatura dei vetri di spin in 3 dimensioni spaziali. Recentemente nuovi metodi di indagine numerica sono stati applicati allo studio di questo problema: ad esempio, il calcolo dei ground states (che non soffre dei problemi dovuti alla vicinanza dal punto critico) e la misura del rapporto di fluttuazione-dissipazione con una procedura che elimina gli effetti di non-linearita' nel campo usato per la misura.

** Vetri strutturali e transizione vetrosa. **

Negli ultimi anni abbiamo sviluppato una teoria per la transizione dinamica nei vetri strutturali. L'idea cruciale e' che il rallentamento che avviene nei vetri alla temperatura Tc, e' la manifestazione di una transizione topologica nello spazio delle fasi.

** Modellizzazione e analisi di fenomeni socio economici. **

Recentemente e' nato un grande interesse verso la modellizzazione di contesti socio-economici, dove l'emergenza di un comportamento collettivo non banale ha origine in meccanismi microscopici complessi e spesso non del tutto compresi. Il caso dei mercati finanziari e' forse il caso piu' eclatante, ma sicuramente non il solo.

** Applicazione di metodi di teoria dei campi **

La ricerca svolta mira ad applicare le tecniche di teoria dei campi a diversi sistemi statistici al fine di determinarne le proprieta' critiche. A questo fine e' stato sviluppato un codice molto generale che permette di effettuare calcoli ad alto numero di loop ed e' stato applicato a molti sistemi diversi. In particolare, sono stati determinati gli esponenti critici del modello di Ising diluito, del modello cubico, dei modelli chirali con simmetria O(n)*O(m), ed e' stato studiato il comportamento multicritico di sistemi con due parametri d'ordine vettoriali.

** Uso di Metodi di Ottimizzazione per il Calcolo Esatto di Funzioni di Partizione **

La connessione fra i nostri problemi e le tecniche di ottimizzazione consente di risolvere questioni complesse come il calcolo della funzione di partizione di vetri di spin 2d su sistemi di grandi taglia (anche 100*100). Siamo riusciti, grazie a queste tecniche, a determinare il comportamento del calore specifico, per T che tende a zero, di questi sistemi.

** Studio di Sistemi Biofisici. Unzipping del DNA **

Abbiamo mostrato che le dinamiche di unzipping hanno caratteristiche tipiche di dinamiche lente o vetrose.

Discutiamo ora di calcolo parallelo e calcolatori dedicati ed ottimizzati.

Le simulazioni numeriche sono da anni ampiamente utilizzate in parecchie aree della fisica teorica, in quei casi in cui la

complessita' del sistema studiato non permette di otenere predizioni significative con tecniche di calcolo analitiche. In questi casi le tecniche numeriche contribuiscono, insieme all' analisi di situazioni particolarmente semplici, o allo studio di modelli semplificati, ad ottenere una piu' completa comprensione del sistema studiato e per ottenere predizioni quantitative.

In alcuni casi, l' approccio numerico e' stato portato all' estremo, con lo sviluppo di sistemi di calcolo dedicati, in campi in cui i vantaggi forniti ne giustifichino lo sforzo (in termini di investimento umano e di fondi richiesti). Esempi in questo senso sono forniti nel campo delle teorie di gauge sul reticolo, della dinamica di sistemi gravitazionali, della simulazione dei fluidi, dello studio Monte Carlo di sistemi di spin.

Citiamo alcuni punti chiave:

- il progetto APE ha prodotto varie generazioni di sistemi di calcolo massicciamente parallelo, utilizzati per la simulazione numerica delle teorie di gauge sul reticolo. L' ultima versione di APE (apeNEXT) e' attualmente in fase di test e mettera' a disposizione a breve una potenza di calcolo di parecchi Tflops.

-Gruppi in stretto contatto con la nostra unita' di ricerca hanno sviluppato sistemi dedicati (la macchina SUE), semplici ma estremamente potenti, per la simulazione di sistemi di spin

Il prossimo punto rilevante riguarda turbolenza e transizioni di fase nei fluidi.

Abbiamo una lunga esperienza nello studio di due importanti argomenti della fisica dei sistemi complessi: turbolenza e transizioni di fase nei fluidi, che hanno in comune il tentativo di capire come comportamenti collettivi e strutture di larga scala emergano in sistemi costituiti da un gran numero di gradi di liberta'. Negli ultimi anni il gruppo ha portato avanti dei progetti di ricerca riguardanti la segregazione di fase nei fluidi e la turbolenza anisotropa in collaborazione con ricercatori di diverse universita' e nazionalita': Rutgers University, Atlanta University, Livermore Lab (USA), Universita' de L'Aquila, del Weizmann Institute of Science (Israel), dell'INLN, CNRS (Francia), e dell'Universita' di Torino. In dettaglio:

a) Segregazione e moto di interfacce.

La dinamica dei processi di auto organizzazione nelle transizioni di fase e' il soggetto di molti studi sia teorici che sperimentali riguardanti miscele fluide, leghe metalliche e vetri inorganici. Il suo studio richiede di risolvere difficili problemi della fisica statistica del non equilibrio e dei sistemi non lineari. In particolare, la dinamica della separazione di fase in fluidi a molte componenti, come ad esempio miscele di polimeri e miscele di cristalli liquidi, e' di considerevole interesse. Abbiamo studiato gli effetti idrodinamici sulla segregazione di fase di miscele fluide perche' sono largamente presenti in natura e piu' usate negli esperimenti. Sono state proposte equazioni cinetiche di Vlasov-Boltzmann per un fluido binario che prevedono la separazione di fase delle due specie.

b) Turbolenza.

Ci siamo interessati a problemi di turbolenza Euleriana isotropa e anisotropa, di Turbolenza Lagrangiana e di problemi di trasporto di particelle passive (contaminanti scalari) e di sostanze attive, come polimeri o bolle (fluidi a due fasi). In quest' ultimo caso il problema e' di particolare interesse a causa del fenomeno noto come "drag reduction". Abbiamo inoltre proseguito l'attivita' di modellizzazione dinamica della cascata di energia turbolenta tramite lo studio dei "modelli a shell". I risultati piu' importanti sono stati i seguenti.

(i) Turbolenza isotropa e anisotropa. Abbiamo studiato le proprieta' di universalita' delle fluttuazioni anisotrope a piccola scala in differenti fluidi omogenei, come il Random Kolmogorov Flow e una cella convettiva di Raylaigh-Benard. Abbiamo mostrato le prime evidenze numeriche che gli esponenti di scala delle componenti anisotrope sono universali.

(ii) Turbolenza Lagrangiana. In collaborazione con il centro di supercalcolo del CINECA abbiamo effettuato una simulazione numerica di turbolenza omogenea e isotropa con milioni di particelle passivamente trasportate dal fluido. La risoluzione ottenuta (1024x1024x1024) consiste nella piu' alta risoluzione mai ottenuta al mondo con lo specifico scopo di studiare le proprieta' Lagrangiane del fluido turbolento.

(iii) Drag reduction. Negli ultimi anni si sono sviluppati nuovi modelli idonei allo studio dei fenomeni di riduzione di drag osservati in fluidi turbolenti con soluzioni molto diluite di polimeri. Il problema della riduzione di drag, originariamente osservato in laboratorio alla fine degli anni 40, e' ancora in attesa di una spiegazione fisicamente adeguata, malgrado l'intensa attivita' teorica e sperimentale svolta nel corso degli ultimi 50 anni. Questi modelli descrivono il comportamento dei polimeri utilizzando la struttura del tensore di correlazione nello "stiramento" dei cempo dei polimeri. In questo settore, sono state sviluppate una serie di teorie che prevedono il comportamento del Drag sia per la turbolenza omogenea isotropa (dove una opportuna definizione di Drag e' stata appositamente proposta) sia per lo strato limite turbolento.

Le teorie di campo sono un ulteriore esempio di sistemi fisici di grande complessita', dei quali ci occupiamo e che descriveremo adesso.

Le teorie di campo quantistiche e la teoria del gruppo di rinormalizzazione permettono di descrivere fenomeni fisici molto diversi, come le interazioni fondamentali della natura (cromodinamica quantistica, modello standard) e i fenomeni critici in meccanica statistica (per esempio la transizione superfluida in He4). Nella nostra attivita' di ricerca ci siamo interessati ad entrambi i campi di studio, in particolare alla cromodinamica quantistica nell'ambito delle interazioni fondamentali e a vari fenomeni critici, dalla transizione in He4 a sistemi piu' complessi, nell'ambito della meccanica statistica.

Molti fenomeni critici in natura sono descritti da teorie caratterizzate da un parametro d'ordine con N componenti, simmetria O(N), e pattern di rottura della simmetria O(N)->O(N-1).
Se da un lato la teoria di queste transizioni e' ben stabilita, d'altra parte e' di particolare interesse il miglioramento delle stime teoriche delle varie quantita' universali che descrivono la transizione di fase, come gli esponenti critici e l'equazione critica di stato, da confrontare con i risultati dei molti esperimenti riportati in letteratura. Infatti in alcuni casi i risultati sperimentali sono molto precisi, come nel caso della transizione superfluida in He4.
Abbiamo dedicato un certo numero di lavori a questo scopo utilizzando varie tecniche, dallo sviluppo perturbativo nelle teorie di campo, sviluppi di alta temperatura in modelli statistici, e anche simulazioni Monte Carlo, ottenendo un sensibile miglioramento delle stime delle quantita' fisiche universali.

In natura ci sono altri fenomeni critici interessanti caratterizzati da pattern di rottura di simmetria piu' complessi, che possono essere descritti da teorie phi4 Landau-Ginzburg-Wilson (LGW) piu' generali di quella O(N). Tra i sistemi fisici che possono essere descritti da Hamiltoniane LGW generalizzate menzioniamo i materiali magnetici con impurita', e piu' in generale una classe di modelli di spin con disordine quenched accoppiato all'energia, alcuni sistemi magnetici frustrati caratterizzati da una fase ordinata noncollineare, transizione superfluida in He3, comportamenti critici in prossimita' di un punto multicritico, che sono, per esempio, previsti, in ferromagneti anisotropi e nell'ambito della teoria della superconduttivita' ad alta temperatura, etc... L'uso del computer con programmi di manipolazione simbolica ci ha permesso di effettuare calcoli perturbativi a grandi ordini per varie teorie phi4 LGW fisicamente interessanti, tipicamente fino a sei loops, che, supplementate da analisi del comportamento dello sviluppo a grandi ordini, hanno fornito accurate descrizioni dei comportamenti critici dei sistemi corrispondenti.

Un'altra importante linea di ricerca riguarda la dinamica di non equilibrio, in particolare il fenomeno di aging. Utilizzando l'approccio di teoria di campo, e' state studiata la relazione tra la funzione di risposta e la funzione di correlazione per varie dinamiche di non equilibrio, e sistemi O(N) puri e con disordine. Speriamo che questo aiuti a chiarire i rapporti profondi fra questi studi e lo studio dei sistemi disordinati.

Una parte importante della nostra attivita' di ricerca riguarda argomenti rilevanti per la fisica delle interazioni fondamentali, ad in particolare la teoria delle interazioni forti, cromodinamica quantistica, nella formulazione di Wilson su reticolo, utilizzando essenzialmente tecniche non perturbative come le simulazioni Monte Carlo. In particolare, e' stato portato avanti un progetto dedicato allo studio del comportamento delle teorie di gauge SU(N) nel limite di grande N.

I sistemi quantistici a molti corpi sono oggetto di grande interesse in settori diversi della fisica; noi ci stiamo occupando delle applicazioni di metodi nati nell'ambito della fisica dello stato condensato a teorie di campo sul reticolo in formalismo Hamiltoniano ed a modelli matriciali ; ci siamo dedicati in particolare a modelli

supersimmetrici.

Continuando nella descrizione di quest'approccio che dalla teoria dei campi porta allo studio di sistemi complessi, fino a rilevanti applicazioni biologiche ed a sistemi a molti agenti, citiamo ancora:

1) sistemi con gruppi di invarianza non abeliana: in particolare ci siamo interessati di modelli sigma in due dimensioni. Infatti questi sistemi sono un formidale laboratorio teorico: essi si pensa condividono con le teorie di gauge in 4 dimensioni il fenomeno della liberta' asintotica in regime ultravioletto, ma non tutti gli autori condividono questa opinione che non ha ancora una solida base matematica.

2) Omopolimeri in fase collassata ed eteropolimeri vicini alla temperatura di ripiegamento. Per questo problema abbiamo sviluppato dei nuovi algoritmi di simulazione numerica che abbiamo dimostrato essere assai efficienti.

3) Abbiamo accumulato una certa esperienza (anche grazie al contatto con gruppi sperimentali) nella modellizzazione di sistemi biologici concernenti il citoscheletro. Le cellule viventi utilizzano filamenti per molti scopi; l'esempio piu' noto e' il DNA, una struttura filamentosa utilizzata dalle cellule eucariote e procariote per processare l'informazione. Le cellule eucariote, inoltre, usano filamenti per definire la loro struttura variabile (interna ed esterna) e la loro forma, per esempio quando vanno incontro a divisione. I filamenti impegnati nella struttura cellulare costituiscono il cosiddetto citoscheletro. Un problema fondamentale della biologia cellulare, e di marcato interesse fisico, e' l'organizzazione cooperativa dei filamenti citoscheletrici in strutture ordinate che generano la morfologia cellulare.

Testo inglese

We will describe here the first phase of our project, that coincides with the full program. We will give its reasons and foundations. We will discuss in next section our expected results

We start by discussing about physics of disordered systems, one of the main points of our research.

The properties of disordered and/or frustrated systems in their spin glass phase still attract a lot of interest in the scientific community. We will here analyze the main fields of research regarding both high-level physical application and the paradigmatic use of statistical mechanics methods. Indeed the strong interplay between analytical and numerical approaches, in particular between disordered system statistical mechanics, field theory and a massive use of computational resources (especially dedicated computers), is one of the main characteristics of the present project.

** Description of out of equilibrium dynamics in glassy systems **

A glassy system is a generic aggregate of a large number of degrees of freedom that interact strongly among them and tend to relax toward low energy states via a dynamics having a broad spectrum of relaxing time scales (from picoseconds to thousands of years). It is very hard to describe such a glassy dynamics, even under some approximations.

** Search for optimal solutions to a hard combinatorial problem **

A combinatorial problem consist in assigning values to a large number of variables such that all or most constraints are satisfied. Needless to say that finding solutions to such a generic problem would have very broad applications. When problems of this kind are recast in a statistical mechanics formalism, one discovers that they correspond to frustrated models.

** Thermodynamical properties of finite-dimensional spin glasses. Rejuvenation and memory effects **

Despite almost 30 years of numerical and analytical studies, the kind of symmetry breaking taking place in the low temperature phase of a 3-dimensional spin glass model is still unclear. Recently new numerical methods have been applied to study this problem: e.g. the use of ground states (which does not feel any effect due to the vicinity of the critical point) and the use of the fluctuation-dissipation ratio measured with a procedure totally free from non-linear response effects.

** Structural glasses and the glass transition **

In the last few years we developed a theory for the dynamic glass transition in structural glasses. The key idea is that the slowing down that occurs in glasses at the temperature Tc, is just a manifestation of a topological transition taking place in the phase space.

** Modeling and analyzing socio-economical effects **

There has been recently a great interest for the modelization of socio-economic contexts where the emergence of a non trivial collective behavior originates from complex and often not understood microscopic mechanisms. The case of financial markets is probably the most known, but certainly not the only one.

** Field Theory **

We have applied field-theory techniques to several different statistical systems, in order to determine their critical properties. For this purpose we have developed a general computer code that allows us to compute perturbative series to high order and we have applied it to several systems. In particular, we have determined the critical exponents of the dilute Ising model, of the cubic model, of the chiral model with symmetry O(n)*O(m), and we have studied the multi-critical behavior of systems with two vector order parameters.

** Optimization Methods for Exact Computations of Partition Functions **

Connections among our problems and optimization techniques allows to solve complex questions like exact computations of partition functions of spin glasses in 2d on large systems (up, say, to 100*100). We have succeeded, thanks to these techniques, to determine the low T behavior of the specific heat of these systems.

** Biophysics. DNA Unzipping **

We have shown that unzipping dynamics has typical features of slow/glassy dynamics.

We discuss now about parallel computing and about optimized and dedicated computers.

Simulation methods have been commonplace since several decades in many areas of theoretical physics, in all cases where the complexity of the system under investigation does not allow to obtain analytical results in physically interesting situations. In these cases, numerical results nicely go along with analytical estimates made on simpler (toy) models or under crude approximation schemes, and often provide a detailed understanding of the physical processes as well as accurate predictions.

In some cases, the approach outlined above has been pushed to the extreme, as several groups of physicists have developed their own computational systems, in situations in which the advantages of this approach justified the corresponding investment in terms of needed resources (above all, man power).Examples of such efforts include (but are not limited to) Lattice Gauge Theories Gravitational dynamics turbulent fluid dynamics Spin systems (Ising models and spin-glasses)

We quote for example:

- the APE project has developed several versions of the massively parallel APE processor, tailored to Lattice Gauge Theory Simulations. The latest APE version (apeNEXT) is currently under test and is expected to provide multi-Tflops performance in the near future.

- Very simple yet extremely powerful systems (the SUE machine), based on reconfigurable hardware, have been developed to simulate Ising or Spin-Glass systems by a research group strictly connected with tis research unit.

The next relevant point concerns turbulence and phase transitions in fluids.

We have a long experience in the study of two topics in the physics of complex systems: turbulence and phase transition in fluids, which share the effort of understanding how collective behaviors and large scale structures arise in systems of many degrees of freedom, by using common analytical and numerical methods. In the last years the team has been involved in research projects concerning phase segregation in alloys and fluids and anisotropic turbulence in collaboration with researchers from different laboratories and Universities: Rutgers University, Georgia Tech university, Livermore Laboratory (USA), Universita‘ de L’Aquila, Weizmann Institute of Science (Israel), INLN, CNRS, in France, and Universita’ di Torino.

In more detail:

a) Phase segregation and interface motion.

The dynamics of ordering processes in the phase transitions is the subject of many theoretical and experimental investigations concerning fluid mixtures, metallic alloys and inorganic glasses. Its study involves challenging problems of non-equilibrium statistical physics and nonlinear systems. In particular, the dynamics of phase separation in multicomponent fluids, such as polymer blends and liquid crystal mixtures is of considerable current interest. We have studied the hydrodynamic effects on the phase segregation of fluid mixtures because they are largely present in nature and more suited for experiments. We proposed a kinetic model for a binary fluid based on two coupled Vasov-Boltzmann equations for studying the phase segregation of the two species.

b) Turbulence

The most important results are:

(i) Isotropic and Anisotropic Turbulence. We have studied the properties of universality of small scale fluctuations in highly anisotropic and homogeneous flows as for the case of Random Kolmogorof Flows and Rayleigh-Bernard convective cells. We have provided the first numerical evidences that also highly anisotropic sectors have universal scaling properties.

(ii) Lagrangian Turbulence. In collaboration with the center for scientific computations of CINECA we have performed a direct numerical simulations of a homogeneous and isotropic flow at resolution (1024x1024x1024) seeded with millions of passive tracers. This is the largest data base, world wide, of Lagrangian particle at this Reynolds numbers.

(iii) Drag reduction. Recently, many model have been proposed to understand the phenomenon of drag reduction in presence of diluted polymer solutions. The problem is still unsolved. We have developed a theory able to predict the drag-reduction behavior inhomogeneous and isotropic turbulence as well in bounded flows.

Field theories are a further example of very complex physical systems, that we study and that we will now describe.

Quantum Field Theories and Renormalization Group Theory can be used to describe very different physical phenomena, including fundamental interactions (Quantum Chromodynamics, Standard Model) and critical phenomena in statistical mechanics (e.g., the superfluid transition in He4). In our research activity, we pursued both fields of study, and in particular Quantum Chromodynamics within fundamental interactions, and several critical phenomena, from the transition in He4 to more complex systems, within statistical mechanics.

Many critical phenomena in nature are described by theories characterized by an N-component order parameter, O(N) symmetry, and symmetry breaking pattern O(N)->O(N-1).
The theory of these
transition is well-established; nonetheless, it is very interesting to improve the theoretical estimates of the many universal quantities describing the phase transition, e.g., critical exponents and the critical equation of state; they can be compared with the many experimental results reported in the literature. Indeed, in several cases the experimental results are very precise, e.g., the superfluid transition of He4. We devoted a number of publications to this task, cf., e.g., references ; we used several techniques, including the perturbative expansion of field theories, high-temperature expansion in statistical models, and also Monte Carlo simulations; we obtained a sensible improvement in the estimates of universal physical quantities. These results are also reported in the review.

In nature, interesting critical phenomena characterized by more complex symmetry breaking patterns exist; they can be described by phi4 Landau-Ginzburg-Wilson (LGW) theories that are more general than the O(N) model. Among the physical systems that can be described by generalized LGW Hamiltonians, we mention: magnetic materials with impurities, and more generically a class of spin models with quenched disorder coupled to energy, several frustrated magnetic systems characterized by a non-collinear ordered phase, the superfluid transition in He3, critical behavior in the vicinity of a multicritical point, that are, e.g., predicted in anisotropic ferromagnets and within the SO(5) theory of high-temperature superconductivity, etc. The use of symbolic manipulation programs on a computer allowed us to perform perturbative computations to high orders for several physically interesting phi4 LGW theories, typically up to six loops; supplemented by an analysis of the behaviors of the expansion to high orders, they yielded accurate

descriptions of the critical behavior of the corresponding systems.

Another important line of research deals with non-equilibrium dynamics, especially the aging phenomenon. Using the field-theory approach, we studied the relation between the response function and the correlation function for several non-equilibrium dynamics, and O(N) pure and disordered systems.

An important part of our research activity deals with topics which are relevant for the physics of fundamental interactions, and especially the theory of strong interactions, QCD, in the Wilson lattice formulation, using essentially non-perturbative techniques like Monte Carlo simulations. In particular, we developed a project devoted to the study of the behavior of SU(N) gauge theories on the large-N limit.

Many-body quantum systems are a topic of great interest in different sectors of physics; we are studying the application of techniques originated within condensed-matter physics to lattice field theories in the Hamiltonian formulation and to matrix models ; we devoted our attention mainly to supersymmetric models.

Continuing the description of this approach that from field theory leads us far away to the study of complex systems, up to relevant biological applications and multi-agent systems we also quote:

1) system with a non-abelian group of symmetry: in particular non-linear sigma models in two dimensions. Indeed they are an important theoretical laboratory: they seem to share with 4-dimensional gauge theories the property of asymptotic freedom in the ultraviolet limit (but not all the authors agree, as there is not yet a solid mathematical proof).

2) homopolymers in the collapsed phase and heteropolymers near the crumpling temperature. For these problems we have developed new efficient Monte Carlo algorithms that we could show are very efficient.

3) Filaments are used in living cells for a wide variety of purposes. Perhaps the most known example is that both eukaryotes and prokaryotes use a filamentous structure, the DNA, to process information. Eukaryotic cells also use filaments to define their changing internal and external structure and shape, for example when they divide. The filaments performing tasks related to cell structure are the main part of the so-called cytoskeleton. How cytoskeletal filaments organize cooperatively into different structures which generate the morphology of cells is a fundamental question in cell biology, which has many physical aspects.

Risultati parziali attesi

Testo italiano

Discuteremo qui in dettaglio i risultati che speriamo di ottenere nel corso di questo programma di ricerca.

Cominciamo dalla fisica dei sistemi disordinati e complessi.

** Descrizione della dinamica di fuori equilibrio in sistemi vetrosi **

Contiamo di migliorare ed estendere alcuni schemi di approssimazione della dinamica di fuori equilibrio per i quali recentemente e‘ stata mostrata l’efficacia in alcuni casi semplici. prevediamo di riuscire ad applicare questi schemi di approssimazione analitica alla dinamica di fuori equilibrio di modelli che presentano una fase di rottura di simmetria delle repliche.

L’ultimo, ma certamente piu‘ importante, punto di questa linea di ricerca consiste nel riuscire a prevedere lo stato asintotico di una dinamica vetrosa. Il risultato al quale puntiamo (sebbene sia molto difficile da raggiungere) e‘ quello di riuscire a descrivere lo stato asintotico di una dinamica di fuori equilibrio in termini di quantita‘ misurabili all’equilibrio.

** Ricerca delle soluzioni ottimali per un generico problema combinatorio duro. **

Un generico algoritmo di ricerca, come quelli sofisticati inventati negli ultimi anni nel campo della Computer Science, differisce da una dinamica "fisica" essenzialmente perche’ non soddisfa l’equazione del bilancio dettagliato. Questa differenza implica che a priori non e‘ chiaro nemmeno se possa essere definito un "stato asintotico" per un generico algoritmo di ricerca di soluzioni.

Sara‘ uno degli scopi di questa linea di ricerca quello di

generalizzare la definizione di stato asintotico, affinche' possa applicarsi alla maggior parte degli algoritmi.

** Descrizione delle proprieta' termodinamiche di un vetro di spin in dimensioni finite. Riproduzione e comprensione degli effetti di ringiovanimento e memoria. **

Grazie alla crescita esponenziale delle capacita' di calcolo dei computers, riteniamo che nei prossimi anni si potrebbe incominciare a rispondere ad alcuni domande sui vetri di spin 3-dimensionali che fino ad oggi sono rimaste senza risposta.

I nostri scopi in questa linea di ricerca sono quello di continuare lo studio delle proprieta' termodinamiche e degli effetti di "ringiovanimento e memoria" dei vetri di spin 3-dimensionali.

In parallelo contiamo di estendere lo studio degli effetti di ringiovanimento anche ai vetri di spin definiti sul reticolo di Bethe. In questo caso e' nota una soluzione analitica approssimata (con una rotttura della simmetria delle repliche) della fase di bassa temperatura.

** Vetri strutturali e transizione vetrosa **

Nuove simulazioni numeriche sono necessarie per verificare se l'approccio teorico recentemente formulato da noi parta da ipotesi che sono effettivamente verificate in sistemi realistici. A tal fine e' necessario operare simulazioni di dinamica molecolare in sistemi tipo Lennard-Jones e sfere soft, e trovare le selle dell'energia potenziale con vario grado di instabilita'.

** Limite di metastabilita' nei liquidi sottoraffreddati **

La nostra intenzione e' di studiare in futuro quale e' il ruolo giocato dalla elasticita' nei liquidi sottoraffreddati, e in quale misura l'elasticita' puo' inibire l'esistenza del limite di metastabilita'.

** Supersimmetria e complessita' nei vetri di spin **

Nei sistemi disordinati in cui si ha rottura della supersimmetria (SUSY), e' necessario formulare nuovi metodi per il calcolo della complessita'. In particolare, date le vaste applicazioni interdisciplinari che esso ha, e' fondamentale estendere il metodo cavita' a sistemi con SUSY rotta.

** Modellizzazione e analisi di fenomeni socio economici **

Abbiamo da poco acquisito un pool molto ricco di dati ad alta frequenza di svariati mercati finanziari sia europei che americani. Su di essi verra' intrapresa un'analisi approfondita volta a caratterizzare vari aspetti del comportamento statistico dei prezzi ad alte frequenze. Soprattutto comunque ci occuperemo di modelli di agenti eterogenei in interazione o in competizione per comprendere l'origine microscopica dell'emergenza di certi fenomeni collettivi (per esempio criticita' e auto-organizzazione o cooperazione, mutualismo e comunicazione). In tali modelli l'eteogeneita' e' modellizzata attraverso variabili aleatorie analoghe agli accoppiamenti nei modelli di vetri di spin, quindi il repertorio tecnico e' essenzialmente comune ai due campi.

** Applicazione di metodi di teoria dei campi **

Nei prossimi anni intendiamo studiare con tecniche Monte Carlo e di teoria dei campi sistemi complessi rilevanti per la fisica dei cuprati, estendere lo studio dei modelli chirali con simmetria O(n)*O(m) includendo la struttura multicritica, rilevante per gli antiferromagneti su reticoli a strati triangolari in presenza di campo magnetico, e studiare sistemi con anisotropia casuale.

** Uso di Metodi di Ottimizzazione per il Calcolo Esatto di Funzioni di Partizione **

Abbiamo intenzione di generalizzare i nostri studi a problemi quali la presenza di chaos in temperatura, lo studio di sistemi diluiti, l'analisi di sistemi con accoppiamenti diversi da quelli binari.

** Studio di Sistemi Biofisici. Unzipping del DNA **

Abbiamo intenzione di rendere piu' concrete le nostre idee rispetto alle dinamiche lente, specializzando la nostra analisi a casi reali ed alla analisi di veri esperimenti.

Discutiamo ora di calcolo parallelo e di sviluppo di hardware ottimizzato e dedicato.

Nel recente passato sono stati sviluppati ed utilizzati con successo macchine dedicate alla simulazione di sistemi di spin e spin-glass. In questa area specifica uno sforzo di sviluppo limitato porta a risultati egregi. Ad asempio, il sistema SUE sviluppato 5 anni fa e' in grado di realizzare l' update di uno spin ogni 0.2 ns.

Utilizzando i supporti tecnologici odierni, si puo' ragionevolmente stimare che una nuova generazione di sistema di simulazione dedicato per la simulazione degli spin-glass potrebbe raggiungere prestazioni circa 1000 volte superiori a quelle di SUE (maggiori dettagli su questo numero verranno dati in seguito). Si puo' quindi immaginare di realizzare un sistema dedicato con un livello di prestazioni di un ordine di grandezza superiore a quello ottenibile realisticamente con sistemi di calcolo tradizionali (ad esempio, equivalente all' uso combinato di 10000 PC).

Il nostro scopo principale e' qui lo sviluppo della architettura di un sistema di simulazione di spin-glass in grado di raggiungere il livello di performance sopra accennato e di realizzare (ed utilizzare per simulazioni fisiche) un piccolo prototipo (ad esempio pari al' 1% del sistema definitivo). Questa attivita' verra' svolta in stretta collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell' Universita' di Saragozza (dove si e' svolto in gran parte lo sviluppo di SUE).

Discutiamo ora di idrodinamica e turbolenza.

a) Segregazione e moto di interfacce.

1) Effetti idrodinamici. Il modello cinetico di un fluido binario basato sulle equazioni di Vlasov-Boltzmann ha dato interessanti risultati sia dal punto di vista numerico che analitico. Ha permesso di chiarire su quali scale spazio-temporali e per quali intervalli dei parametri il moto delle interfacce sia quello ipotizzato finora. Lo spessore dell'interfaccia deve essere molto piccolo, molto piu' di quanto non succeda nelle leghe e il fluido deve essere in regime incomprimibile. Resta aperta la questione del comportamento del sistema per interfacce meno sottili, nel caso in cui il fluido e' leggermente comprimibile e degli effetti termici sul moto delle interfacce sottili. Pensiamo che il metodo delle espansioni che abbiamo usato nei lavori precedenti possa adattarsi anche allo studio di questi casi.

2) Trasporto di massa. Una modificazione del modello in cui l'interazione tra le particelle e' sostituita da un interazione con un reservoir a temperatura fissata fornisce un esempio di modello continuo di sistemi in cui gli effetti idrodinamici possono essere trascurati, come per le leghe. Possiamo sintetizzare dicendo che ci interessa:
esame degli effetti termici e di compressibilita' del modello cinetico per il fluido per interfacce sottili;
studio del comportamento macroscopico di un modello continuo di leghe;
analisi numerica per entrambi i modelli usando un algoritmo basato sulle equazioni cinetiche.

b) Turbolenza

1) Turbolenza Lagrangiana. Intendiamo effettuare uno studio sistematico dei modelli stocastici utilizzati per descrivere la separazione relativa di due (tre e quattro) particelle in flussi turbolenti.

2) MHD. Intendiamo effettuare una serie di simulazioni numeriche dirette di flussi turbolenti conduttori per studiare gli effetti anisotropi in presenza di un campo magnetico a grande scala. Questo e' un problema di grande interesse teorico e applicativo per flussi astrofisici.

3) Trasporto di particelle inerziali. Intendiamo estendere lo studio numerico della turbolenza Lagrangiana considerando anche il caso di particelle trasportate di densita' differente dal flusso sottostante.

4) Drag reduction. Si vuole studiare la congettura che il comportamento qualitativo e quantitativo del fenomeno della riduzione di Drag possa essere complessivamente spiegato come effetto di una viscosita' dipendente dalla scala (per la turbolenza omogenea e isotropa) o dallo spazio (per la turbolenza di parete).

5) Lattice Boltzmann Equation. Si vuole formulare un modello cinetico in approssimazione BGK (Bhatnagar Gross Krook) in grado di riprodurre nel corretto limite di scala (bassi numeri di Knudsen) le equazioni di modelli turbolenti (modelli a shell).

Discutiamo ora di applicazioni di metodi di teoria dei campi, sia a sistemi disordinati che a sistemi di campi quantistici interagenti.

(1) Dinamica fuori equilibrio. Ci proponiamo di studiare fenomeni di aging in sistemi di spin, essenzialmente sistemi Ising puri e con

disordine quenched, usando anche lo strumento delle simulazioni Monte Carlo.

(2) Sistemi di spin con anisotropia random. Le tecniche standard di teoria di campo che assumono la simmetria delle repliche non evidenziano punti fissi stabili nelle teorie corrispondenti. D'altra parte altri approcci suggeriscono una transizione ad una fase vetrosa. Ci proponiamo di investigare il comportamento critico alla transizione.

(3) In sistemi con disordine accoppiato all'energia, come nei modelli di spin con impurita', la simmetria delle repliche e' apparentemente preservata. Ci proponiamo di verificare questa proprieta' calcolando le dimensioni RG al punto fisso stabile (replica simmetrico) degli operatori che potrebbero rompere la simmetria delle repliche.

(4) L'esistenza della classe di universalita' chiral in sistemi a N componenti con pattern di rottura di simmetria O(N)->O(N-2) e' ancora un problema controverso. I casi N=2,3 sono rilevanti per la classe di antiferromagneti frustrati caratterizzati da una fase ordinata noncollineare, in quanto, nel caso di transizione continua, dovrebbero descrivere il loro comportamento critico. Differenti approcci forniscono risultati contrastanti. Ci proponiamo di chiarire la questione, usando un approccio di teoria di campo e sviluppi perturbativi a grandi ordini, e simulazioni Monte Carlo.

(5) Meccanica quantistica supersimmetrica di Yang-Mills. Le nostre tecniche ci permettono uno studio dettagliato del modello quadridimensionale. Ci proponiamo di estendere lo studio al modello 10-dimensionale, che ha grande interesse per la teoria M.

(6) Modelli supersimmetrici sul reticolo in formalismo Hamiltoniano. Abbiamo iniziato uno studio comparativo di diversi algoritmi che possono consentire di affrontare il problema della rottura dinamica di supersimmetria.

(7) Applicazioni dei metodi di teoria di campo statistica allo studio delle dinamiche evolutive delle popolazioni.

Ci proponiamo di chiarire definitivamente le differenze nel comportamento critico di modelli sigma in due dimensione quando il gruppo di simmetria non abeliano e' continuo o discreto, e di verificare le previsione che vengono dalla analisi perturbativa standard del flusso del gruppo di rinormalizzazione.

Stiamo investigando il modello classico con interazione generica invariante O(N) per mettere in luce la possibilita' di una transizione di fase anche in due dimensioni a temperatura finita.

Riteniamo che gli algoritmi da noi messi a punto per lo studio di polimeri ci mettano nelle condizioni di eseguire degli studi numerici assai piu' dettagliati di quanto non sia stato fatto sulla transizione alla fase collassata.

Abbiamo recentemente introdotto una definizione di lunghezza di correlazione utile a discutere sistemi stazionari fuori dall'equilibrio per l'azione di un campo forzante, dove pure il decadimento delle funzioni di correlazione e' algebrico per ogni temperatura. Ci pare naturale utilizzare tale lunghezza per utilizzare le metodologie di analisi del comportamento di scala al variare della taglia finita del sistema, che sono le piu' potenti per determinare il comportamento critico. Questo permetterebbe di dirimere una annosa polemica su alcune previsioni teoriche che sono ancora oggi in discussione nel cosiddetto Driven Lattice Gas.

Sistemi di propulsione nelle cellule eucariote: cilia e flagelli. Abbiamo costruito un modello coarse-grain per studiare analiticamente i fenomeni connessi all'interazione idrodinamica tra cilia, come la generazione spontanea di flusso in un fluido e la formazione di patterns spazio-temporali o onde metacronali. Con tale modello mettiamo in evidenza le condizioni necessarie essenziali affinche' i complessi attivi di cilia producano i fenomeni osservati di sincronizzazione su larga scala. Abbiamo risultati analitici per il caso in cui la forzante attiva nel sistema sia rappresentata da un processo stocastico descritto da unpropagatore di tipo Brazowski, e per il caso in cui la forzante sia modellata come uno switch interno deterministico. Nel primo caso troviamo che l'onda metacronale e' frustrata e richiede, per essere sostenuta, un'esplicita interazione a corto range tra le cilia. Nel secondo dimostriamo analiticamente l'esistenza di onde metacronali per lunghezze d'onda inferiori ad un valore caratteristico. Inoltre, troviamo che il pattern metacronale e' sostenuto da un battito in antifase di cilia consecutive. Attualmente stiamo studiando numericamente un modello di dinamica (non lineare) di singolo e multipli filamenti come oggetti estesi interagenti con forze indotte dal fluido. Inoltre pensiamo di poter dimostrare che il fenomeno ''antifase'' e' connesso a processi di ottimizzazione per il

trasporto di materia.

Nel campo della finanza quantitativa, la possibililita' di spiegare con un'unica causa fenomenologie apparentemente disgiunte ci spinge a sviluppare una analisi piu' articolata della interazione che finora abbiamo assunto identica per ogni componente del sistema. Da un lato intendiamo considerare modelli tipo vetri di spin, piu' vicini alle interazioni reali tra le azioni (con situazioni di spiccata frustrazione nella distribuzione degli investimenti). Dall'altro ci sembra interessante analizzare anche solo la struttura del ''network di interazione'', che si prevede gerarchica e/o con proprieta' di small world. Questa analisi e' in corso con un lavoro di tesi che utilizza metodi statistici (metodo delle copule) recentemente introdotti in alternativa alle tecniche usuali di analisi di serie storiche.

Testo inglese

We will discuss here in some detail the results that we hope to obtain during this research program.

We start with physics of disordered and comples systems.

** Description of out of equilibrium dynamics in glassy systems **

We plan to improve and to extend some approximation schemes for the out of equilibrium dynamics, which have been recently found useful in relatively simple models. We believe we can apply successfully these new approximations methods to models having a replica symmetry broken phase.

Last but not least important point of this research line consist in predicting the asymptotic state of a glassy dynamics. Our objective, although very ambitious, is to characterize the asymptotic state of an out of equilibrium dynamics in terms of equilibrium properties.

** Search for optimal solutions to a hard combinatorial problem **

Sophisticated searching algorithms, like those invented in the last years by computer scientists, differ from a "physical" dynamics mainly because do not satisfy detailed balance. It is thus a priori unclear whether an asymptotic state can be defined for any searching algorithm.

One of the aims of the present research line will be to generalize the concept of asymptotic state, such that it can be applied to the broadest class of algorithms.

** Thermodynamical properties of finite-dimensional spin glasses. Rejuvenation and memory effects **

Thanks to the exponential growth of available computational resources, we believe that in the next years some old questions on 3-dimensional spin glasses could be finally answered.

Our aims along this research line consist mainly in pursuing the study of thermodynamical properties of 3-dimensional spin glasses as well as their rejuvenation and memory effects.

In parallel, we plan to extend the study of rejuvenation and memory effects also to spin glasses defined on the Bethe lattice. In this case an approximated analytical solution of the low temperature phase is known (the so-called one step replica symmetry broken solution).

** Structural glasses and the glass transition **

New numerical simulations are necessary in order to verify whether the theoretical approach we formulated is in fact starting from realistic hypothesis. To this aim, we need to run Molecular Dynamics simulations in Lennard-Jones, or Soft Sphere systems, and find the stationary points of the potential energy, with various degree of instability.

** Metastability limit in supercooled liquids **

Our project is to study what is the role played by elasticity in supercooled liquids, and to what extent elasticity may suppress the metastability limit.

** Supersymmetry and complexity in spin-glasses **

In those disordered systems where the supersymmetry (SUSY) is broken, it is necessary to formulate new methods for the calculation of the complexity. In particular, given its the many interdisciplinary

applications, one should extend the cavity method to systems with broken SUSY.

** Modeling and analysing socio-economical phenomena **

We have recently acquired a very rich pool of high frequency data of different European and American financial markets. We plan to analyze these data with different statistical techniques to characterize the behaviour of prices at high frequencies. The main subject of our research concerns however the analysis of models of heterogeneous interacting agents, and our aim is to understand the microscopic origin of the emergence of certain collective processes such as criticality and self-organization, cooperation, mutualism and communication. In these models heterogeneity is modeled via quenched random variables similar to the random interactions of spin glass models and thus the technical repertoire is analogous for these two fields.

** Field Theory **

In the next years we plan to use Monte Carlo and field-theory methods for the study of complex systems that are relevant for the physics of cuprates, of the multicritical behavior of chiral systems with symmetry O(n)*O(m)---this is relevant for antiferromagnets on stacked triangular lattices in the presence of a magnetic field---and of systems with random anisotropy.

** Optimization Methods for Exact Computations of Partition Functions **

We want to generalize our approach to problems like temperature chaos, the study of diluted systems and the analysis of couplings that are different from the binary couplings we have used till now.

** Biophysics. DNA Unzipping **

We want to specialize our slow dynamics approach to realistic cases and to the analysis of real experiments.

We discuss now about parallel computing and about development of optimized and dedicated hardware.

Engines of Ising and spin-glass models have been recently developed and succesfully used. In this context, limited investment brings large revenues: for instance, the SUE system described above and developed about 5 years ago, updates one spin on average every 0.2 ns.

The above mentioned technology advances on the other hand can be used to develop a new generation of a dedicated spin-glass system: a performance increase of a factor 1000 (more on this figure later on in this document) can be expected, so a dedicated simulation engine with ten times more performance than reasonably possible on conventional computer systems (as an example, a system equivalent to about 10000 PC's) in the next few years can be envisaged.

The main goal of the present project is the development of the architecture of a new generation Ising model/Spin Glass simulation engine capable to reach the performance level described above, and the actual realization of a prototype (with a computing power of the order of approxinmately 1% of the target performance). This activity should be carried out in close collaboration with the Physics Department of the University of Zaragoza (where a large fraction of SUE development has been carried out).

Let us discuss now about hydrodynamics and turbulence.

a) Phase segregation and interface motion.

1) Hydrodynamic effects. The kinetic model of a binary fluid based on the Vlasov-Boltzmann equations has been successful in describing the late stages of the segregation process, both from the analytical and numeric point of view. It is now clear on which scales the motion of the interface is like the one of an elastic membrane following the incompressible velocity field. To get this regime the width of the interface has to be very sharp, much sharper than in the case of alloys. There are still open questions: the thermal effects on the motion of the interface and the compressibility effects, that should be relevant when the interface is less sharp. We think that our methods could be useful also to get these corrections and plan to work on that in the next two years.

2) Mass transport. A second topic of interest that we plan to investigate is a modification of the kinetic model in which the interaction of short range between the particles is replaced by an interaction with a reservoir at fixed temperature, so that the hydrodynamic effects can be ignored as for the alloys. We can

summarize by saying that we will be interested in:
Study of the thermal and compressibility effects for the kinetic model of the binary fluid for sharp interfaces;
Study of the macroscopic behavior of an alloy model on the continuum;
Numerical analysis for both models using an algorithm based on the kinetic models.

b) Turbulence

1) Lagrangian Turbulence. We intend to extend the systematic study of the data-base obtained with the DNS simulations of millions of passive tracers on a grid-resolution of 1024^3.

2) MHD. We intend to perform a DNS of turbulent conducting flows (MagnetoHydroDynamics) in order to study the anisotropic properties in presence of a large scale magnetic field. This is a very important question, both from the theoretical and applied point of view due to its application to astrophysical context.

3) Lagrangian properties of inertia particles. We want to extend our Lagrangian DNS by adding also particles with different densities.

4) Drag reduction. We want to study the proposal that the drag-reduction in wall bounded flows can be explained in terms of a effective viscosity depending on the scale (for homogeneous flows) and on the distance from the wall for wall bounded flows.

5) Lattice Boltzmann Equations. We want to propose a kinematical model in BGK (Bhatnagar Gross Krook) approximation able to reproduce in the correct limit of small Knudsen number the dynamical equations of shell models for the turbulent energy cascade.

Let us discuss now about applications of methods of field theory, both to disordered systems and to systems of interacting quantum fields.

(1) Off-equilibrium dynamics. We plan to study aging phenomena in spin systems (in the absence and presence of impurities) by numerical Monte Carlo simulations.

(2) Spin systems in the presence of random anisotropy. Standard field-theoretical methods assuming replica symmetry do not find stable fixed points in the corresponding theories. On the other hand, other approaches suggest a transition to a glass phase. We plan to investigate the critical behavior at the transition.

(3) In sistems with disorder effectively coupled to the energy, such as spin systems in the presence of impurities, the replica symmetry is apparently preserved. We plan to directly check this property by computing the renormalization-group dimensions of the perturbations that may break replica symmetry at the replica-symmetric fixed point.

(4) The existence of a chiral universality class in N-component spin systems with symmetry-breaking pattern O(N)->O(N-2) is still a controversial issue. The cases N=2,3 are physically relevant, for example they are expected to describe continuous transitions in frustrated antiferromagnets characterized by a noncollinear ordering, such as stacked triangular antiferromagnets. Different theoretical approaches provide contradictory results, calling for further investigation. We plan to clarify this issue by using two approaches: field theoretical methods based on high-order perturbative calculations and Monte Carlo simulations of phi4 lattice theories.

(5) Supersymmetric Yang-Mills quantum mechanics. Our techniques allow us to study in detail the four-dimensional model. We plan to extend the study to the ten-dimensional model, which is of interest for M-theory.

(6) Lattice supersymmetric models in the Hamiltonian formulation. We have started the comparative study of different algorithms meant to investigate issues related to dynamical supersymmetry breaking.

(7) Applications of field-theoretical methods to the study of evolution dynamics of populations.

We wish to eventually clarify the differences in the critical behaviour of 2-dimesional sigma models when the nonabelian symmetry is discrete and continuous, and to verify numerically the perturbative analysis of the renormalization group flow.

We are studying the classical O(N) model with generic interaction to put into evidence the possibility of a phase transition even in two dimwnsions at finite temperature.

We believe that the numerical algorithms we have introduced to simulate polymers will allow us to study with high precision the transition to the collapsed phase and the diffusive modes along the

chain by moving pieces of secondary structures like alpha helicas.

We have recently introduced a notion of correlation length for the driven lattice gas where the decay of the correlation functions is algebraic for all temperatures. We are planning to sistematically use this definition in connection with finite-size-scaling methods to clarify once for all a discussion about the theoretical predictions for critical behavior of the driven lattice gas which have come under an animated discussion recently in the litterature.

Propulsive systems of eukaryotic cells: cilia and flagella. We introduced a coarse-grained model to study analytically phenomena related to the hydrodynamic interaction between cilia, such as the spontaneous generation of fluid flow and the formation of spatio-temporal patterns (metachronal waves). Trough this model we investigate the essential necessary conditions for the active internal complex of cilia to give rise to the observed large scale synchronization phenomena. We have analytical results both for the case in which the active drive on the system is a stochastic process described by a Brazowski-like propagator and for the case in which this drive is an internal deterministic switch. In the former case, we find that metachronal patterns are frustrated and need explicit (short ranged) communication between the cilia to be sustained. In the latter, we prove analytically the existence of metachronal waves below a characteristic wavelength. We also find that the metachronal pattern is sustained by the onset of anti-coordinated beating of consecutive rowers. We are currently studying numerical ways to model the (nonlinear) dynamics of single and multiple filaments as extended objects, which interact through the forces induced by the fluid. We also are confident to be able to show that the antiphase phenomenon may be connected with the optimization of matter transport.

In the field of quantitative finance, the possibility of finding a unique explanation for different phenomenological aspects suggests the opportunity of developing a more complex analysis, of the interactions that up to now we assumed for simplicity to be equal for every component of the system. From one side we plan to consider models like spin glasses, describing more realistically the stock interactions (with strong frustration in the investment distributions). At the same time it seems worthwhile even to analyze the ‘‘interaction network structure’’ by itself, looking for hierarchical structures and/or small world properties.A first step in this direction has been done with a Diploma Thesis which is in progress with the use of statistical techniques (copulas method) recently introduced as an alternative to the usual historical series analyzes.

Unità di Ricerca impegnate

Unità n. 1
Unità n. 2
Unità n. 3
Unità n. 4
Unità n. 5

2.5 Criteri suggeriti per la valutazione globale e delle singole fasi

Testo italiano

Visto che stiamo proponendo una ricerca teorica, ci aspettiamo un flusso relativamente costante di pubblicazioni su riviste internazionali di alto prestigio (ad esempio J. Phys. A, Nucl. Phys. B, Europhys. Lett., Phys. Rev. Lett.). La pubblicazione sara’ normalmente preceduta da invio del "preprint" ai "database" nati a Los Alamos (ed ospitati alla SISSA per quel che riguarda l’Italia).

Le commissioni valutatrici, indipendentemente dall’analisi diretta del valore scientifico dei risultati raggiunti, potranno ottenere informazioni ulteriori sul giudizio della comunita‘ scientifica sul nostro lavoro esaminando agevolmente il flusso di queste pubblicazioni insieme ad un’analisi dei fattori di impatto del le riviste utilizzate (che saranno tutte con referees anonimi).Ci aspettiamo anche di presentare i nostri risultati a congressi internazionali con una certa sistematicita’. Ovviamente sara’ cruciale che le varie tematiche che abbiamo discusso portino tutte a risultati di rilievo (e quindi pubblicati su riviste internazionali). Sara’ interessante anche, per le commissione valutatrici, esaminare quanto il nostro lavoro sara’ stato citato da altri ricercatori del campo.

Citiamo in ultimo la formazione di giovani laureati, dottorati, assegnisti post-dottorali, che e’ uno dei compiti cruciali del nostro lavoro.

Testo inglese

Our research is a theoretical one and we are looking for a constant

flux of publications on high prestige international reviews (e.g. J. Phys. A, Nucl. Phys. B, Europhys. Lett., Phys. Rev. Lett.). Before publication preprints will be sent to the Los Alamos archive (with a mirror in Italy at Sissa).

The evaluation commission, independently from a direct scientific analysis of the results obtained from our groups, may get information of the judgment of the scientific community on our work by monitoring the flux of these publications and by making an analysis of the impact factor of the reviews used (which are based on the anonymous referee system). We plan to present our results to international meetings in a systematic way. Obviously it will be crucial that all the different problems studied will bring to important results and will be published on international reviews. It will be also interesting (for the evaluation scommission) to monitor the presence of our papers on the citation index.

We also add the training of youn people (graduates, phd, postdoctoral fellows) that we consider as one of our main missions.

PARTE III

3.1 Spese delle Unità di Ricerca

Unità di Ricerca	Voce di spesa									
	Materiale inventariabile	Grandi Attrezzature	Materiale di consumo e funzionamento	Spese per calcolo ed elaborazione dati	Personale a contratto	Servizi esterni	Missioni	Partecipazione / Organizzazione convegni	Pubblicazioni	Altro
Unità nº 1	6.000	0	2.500	0	36.000	2.000	2.500	5.000	0	0
Unità nº 2	14.000	0	4.000	0	9.000	0	21.000	0	0	16.000
Unità nº 3	30.000	120.000	20.000	0	100.000	2.000	30.000	0	0	0
Unità nº 4	5.000	0	15.000	0	40.900	15.000	5.000	3.000	0	0
Unità nº 5	41.000	0	0	0	36.000	0	2.000	700	0	3.600
TOTALE	**96.000**	**120.000**	**41.500**	**0**	**221.900**	**19.000**	**60.500**	**8.700**	**0**	**19.600**

3.2 Costo complessivo del Programma di Ricerca

Unità di Ricerca	Voce di spesa					
	RD	RA	RD+RA	Cofinanziamento di altre amministrazioni	Cofinanziamento richiesto al MIUR	Costo totale del programma
Unità n. 1	0	16.200	16.200	0	37.800	54.000
Unità n. 2	13.300	5.900	19.200	0	44.800	64.000
Unità n. 3	100.000	0	100.000	0	202.000	302.000
Unità n. 4	5.000	20.000	25.000	0	58.900	83.900
Unità n. 5	0	25.000	25.000	0	58.300	83.300
TOTALE	**118.300**	**67.100**	**185.400**	**0**	**401.800**	**587.200**

	Euro
Costo complessivo del Programma	587.200
Fondi disponibili (RD)	118.300
Fondi acquisibili (RA)	67.100
Cofinanziamento di altre amministrazioni	0

Cofinanziamento richiesto al MIUR	401.800

(per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla diffusione via Internet delle informazioni riguardanti i programmi finanziati e la loro elaborazione necessaria alle valutazioni; legge del 31.12.96 n° 675 sulla "Tutela dei dati personali")

Firma _____ Data 30/03/2004 ore 17:38

.