

CURRICULUM VITAE

Cognome: Carati

Nome: Andrea

Data di Nascita: Milano, 10–9–1964

Indirizzo: Via Dell’Ontano 3/99, c.a.p. 20090, Rodano (MI).

Indirizzo: Dipartimento di Matematica, Via Saldini 50, 20133 Milano.

E-mail: andrea.carati@unimi.it

Posizione Attuale: Professore Associato in Fisica Matematica alla Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell’Università degli Studi di Milano.

Studi:

- Laurea in Fisica , 26/06/89, Università di Milano 110/110 cum laude, relatori: L. Galgani and G. Benettin. Titolo della tesi: “Problemi analitici nello scambio di energia tra sottosistemi in meccanica classica”.
- Dottorato in Matematica, 20/10/1994, Università di Padova, relatore prof. G. Benettin. Titolo della tesi: “Il metodo di Jeans–Landau–Teller per gli invarianti adiabatici: uno studio rigoroso, con applicazioni alla fisica.”

Esperienze didattiche:

- Professore Incaricato per il corso di Meccanica Analitica 1 (prima Meccanica Razionale 1), per la laurea in Fisica all’Università di Milano, a partire dal 2001 ad oggi.
- Professore Incaricato per il corso di Meccanica Razionale 2 — Introduzione ai sistemi dinamici — per la laurea in Fisica all’Università di Milano, a partire dal 2001 ad oggi.
- Esercitazioni per il corso di Fisica Matematica III, per la Laurea in Matematica all’Università di Milano, negli anni accademici 2007–2012.
- Esercitazioni per corsi di Analisi Matematica 1 ed Analisi Matematica 2 al politecnico di Milano, dal 1997 al 2000.

Borse di Studio:

- Borsa di studio annuale INDAM, a partire dal 1/8/94 al 31/8/95, per lo sviluppo di un progetto di ricerca sul problema degli invarianti adiabatici e sulla sua applicazione a problemi di elettrodinamica.
- Borsa di studio post-dottorato dell’ Università di Milano, di durata biennale dal 1/9/1995 al 1/9/97, per un progetto di ricerca sullo studio di invarianti adiabatici nei problemi di scattering e le loro applicazioni per il controllo dello scambio di energia sulle alte frequenze.
- Assegno di collaborazione alla ricerca di durata annuale dall’1/1/2000 al 31/12/2000, per il progetto “Distribuzione di energie sulle alte frequenze: teoria ed applicazioni”.

Temi di ricerca e risultati ottenuti

1. Teoria hamiltoniana delle perturbazioni.
 - (a) *Invarianti adiabatici nei problemi di scattering.* Il problema consiste nell’applicare la teoria delle perturbazioni a sistemi con collisioni (tipicamente urti tra molecole diatomiche), per stimare lo scambio di energia tra i gradi di libertà “interni” e i gradi di libertà legati al centro di massa, e provare che lo scambio di energia verso i gradi di libertà con alte frequenze diviene esponenzialmente piccolo. Si è mostrato (vedi [1], [4]) che il metodo euristico

di Landau–Teller dà stime ottimali. Il metodo è stato applicato per stimare la velocità di termalizzazione in gas di molecole biatomiche nel lavoro [10], nel quale si è anche trovato che gli scambi di energia seguono un processo non gaussiano.

- (b) *Forme normali per equazioni alle derivate parziali e sistemi integrabili.* Si vedano i lavori [9] e [22].
- (c) *Teoria delle perturbazioni al limite termodinamico.* Tutti i risultati noti di teoria delle perturbazioni dipendono fortemente dal numero N di gradi di libertà. Le applicazioni ai fondamenti della Meccanica Statistica sono rilevanti solo se si riesce a mostrare che la teoria può essere applicata nel limite di $N \rightarrow \infty$, con una energia specifica E/N positiva (limite termodinamico). È stato mostrato da Bambusi e Giorgilli che la teoria delle perturbazioni in senso standard può essere implementata, in un modello significativo, nel limite $N \rightarrow \infty$, ma solo per energia finita, cioè per energia specifica nulla. Nel lavoro [19] si è mostrato che la teoria delle perturbazioni può essere implementata nel limite termodinamico, in una forma più debole particolarmente adatta agli scopi della Meccanica Statistica. Il punto principale consiste nell’osservare che nella teoria ergodica non è necessario avere un controllo di tutti i dati iniziali (per il quale tecnicamente è necessario avere un controllo della norma del sup delle funzioni) ma basta avere un controllo sulle misure, per cui si possono usare norme integrali, ad esempio la norma L^2 . Una applicazione di queste idee alla stima (dal basso) del tempo di rilassamento nei gas è contenuta nel lavoro [24]. Una stima esponenziale dei tempi di mixing per un reticolo di particelle, ottenuto discretizzando il noto modello Φ^4 della teoria dei campi, è stata recentissimamente data nel lavoro [25], utilizzando appunto tali tecniche.

2. Fondamenti dinamici della Meccanica Statistica.

- (a) *Il problema di Fermi–Pasta–Ulam.* Essenzialmente tutti gli studi sul problema di Fermi–Pasta–Ulam (vedi la rassegna [26]) in letteratura, si concentrano su di una classe di dati iniziali corrispondenti all’eccitazione di pochi modi normali del sistema FPU (catena lineare di particelle interagenti a primi vicini con molle non lineari). Lo scopo è quello di discutere se esista, nel limite

termodinamico, uno stato metastabile che eventualmente rilassi poi all'equilibrio dopo un tempo estremamente lungo. Viceversa, in parecchi lavori (vedi ad esempio [17], [16]) si è studiato il sistema FPU per una classe più generale di dati iniziali (corrispondente all'eccitazione di tutti i modi normali), mostrando numericamente che fenomeni di non equilibrio ancora si presentano. Inoltre si è discusso il problema se sia possibile definire le funzioni termodinamiche (come temperatura o calore specifico) in questi stati metastabili (lavori [6], [12]).

- (b) *Meccanica Statistica per gli stati di metaequilibrio.* Motivati dagli studi sul problema FPU menzionati più sopra, si sono riconsiderate le basi dinamiche dei fondamenti della meccanica statistica. Il risultato principale ottenuto è il seguente: affinché valga il secondo principio della termodinamica, non è necessario che la statistica descrivente il sistema sia quella di Gibbs, ma è sufficiente che le medie temporali rilevanti soddisfino un opportuno principio di grandi deviazioni. In particolare segue che esistono sistemi dinamici per cui l'entropia è differente da quella di Gibbs (vedi lavori [13],[15], [20]).

3. Elettrodinamica delle particelle puntiformi.

- (a) *Proprietà analitiche delle soluzioni dell'equazioni di Abraham–Lorentz–Dirac* L'equazione di Abraham–Lorentz–Dirac descrive il moto di una particella puntiforme in cui si consideri anche l'autointerazione della particella con il campo elettromagnetico. Sono state studiate alcune proprietà delle soluzioni. In particolare nei lavori [3], [8] and [14] si è studiato il problema dell'esistenza ed unicità delle soluzioni *non runaway*, mostrando che nessuna delle due è garantita. Nel lavoro [2] si è studiato il carattere non analitico delle soluzioni rispetto alla carica, mentre nel lavoro [5] si è studiato il prolungamento analitico delle soluzioni rispetto al tempo, mostrando così che la creazione o distruzione di coppie possono essere descritte nell'ambito dell'elettrodinamica classica. Per quest'ultimo lavoro il Mathematical Review ha riportato il seguente commento: “ *Under these circumstances it might seem foolhardly and redundant to reach back to classical electrodynamics to locate precursors to pair production. But historical*

experience suggests that the prolonged stasis of the currently accepted theoretical framework can be broken only by the discovery of new phenomena (at still higher energies?); the shift to more comprehensive theoretical schemes (strings, branes, and M); or the renewed exploration of old paths not taken. Carati's paper is one of the rare efforts of this last kind".

- (b) *Sistemi di infinite particelle cariche.* Se, invece di una singola particella, si considera un sistema di a molti corpi, il problema diventa enormemente più complicato a causa del carattere ritardato delle interazioni elettromagnetiche tra le particelle. Ad esempio non è nemmeno chiaro se il problema di Cauchy sia ben posto. Si è quindi iniziato lo studio, nei lavori [11], [18], di una versione linearizzata (ma ancora ritardata), di un sistema di infinite particelle collocate nei siti di un reticolo regolare. Il risultato principale è la dimostrazione dell'esistenza di modi normali non irraggianti, contro la comune intuizione che le cariche dovrebbero irraggiare quando accelerate. Tale risultato costituisce una dimostrazione di un'identità proposta da Wheeler e Feynman nel 1945 sulla base di considerazioni euristiche.

4. Relatività Generale e Cosmologia.

Nella teoria della relatività, a differenza di quanto accade nella teoria newtoniana, le interazioni gravitazionali sono ritardate come in elettrodinamica. Ora, come già osservato nei lavori [11], [18] sopracitati, le interazioni ritardate della materia lontana può avere, per alcuni aspetti, un'influenza molto più rilevante che non la materia vicina, proprio perchè l'esistenza di modi normali non radianti è dovuta all'azione ritardata delle cariche lontane. Nel lavoro [21] (vedi anche [27]) viene stimata l'azione gravitazionale delle galassie lontane in un semplice modello di universo, mostrando che essa produce una curvatura pari a cinque volte quella prodotta dalla materia visibile locale. Si sottolinea inoltre, che il contributo di tale interazione al viriale delle forze negli ammassi di galassie può essere molto maggiore del contributo della materia locale.

Riferimenti bibliografici

- [1] A. Carati, G. Benettin, L. Galgani: *Towards a rigorous treatment of Jeans–Landau–Teller methods for the energy exchanges of harmonic oscillator*, Comm. Math. Phys. **150**, 321–336 (1992).
- [2] A. Carati, L. Galgani: *Asymptotic character of the series of the classical electrodynamics and an application to bremsstrahlung* Nonlinearity **6**, 905–914 (1993).
- [3] A. Carati, P. Delzanno, L. Galgani, J. Sassarini: *Nonuniqueness properties of the physical solutions of the Lorentz–Dirac equation*, Nonlinearity **8**, 65–79 (1995).
- [4] G. Benettin, A. Carati, G. Gallavotti: *A rigorous implementation of the Jeans–Landau–Teller approximations for adiabatic invariants*, Nonlinearity **10**, 479–505 (1997).
- [5] A. Carati: *Pair production in classical electrodynamics*, Foundations of Physics **28**, 843–853 (1998).
- [6] A. Carati, L. Galgani: *On the specific heat of the Fermi–Pasta–Ulam systems*, Journal of Statistical Physics **94**, 859–869 (1999).
- [7] A. Carati, L. Galgani: *Theory of dynamical systems and the relations between Classical and Quantum Mechanics*, Foundations of Physics **31**, 69–87 (2001).
- [8] A. Carati: *An extension of Eliezer’s theorem on the Abraham–Lorentz–Dirac equation*, J. Phys. A: Math. Gen. **34**, 5937–5944 (2001).
- [9] D. Bambusi, A. Carati, A. Ponno: *The Nonlinear Schrödinger Equation as a resonant normal form*, Disc. and Cont. Dyn. Syst. B **2**, 109–128 (2002).
- [10] A. Carati, L. Galgani, B. Pozzi: *Lévy flights in the Landau–Teller model of molecular collisions*, Phys.Rev. Lett. **90**, 010601 (2003).
- [11] A. Carati, L. Galgani: *Nonradiating normal modes in a classical many-body model of matter–radiation interaction*, Nuovo Cimento **B 118**, 839–851 (2003).

- [12] A. Carati, P. Cipriani, L. Galgani: *On the definition of temperature in FPU systems*, Journal of Statistical Physics **115**, 1119-1130 (2004).
- [13] A. Carati: *Thermodynamics and time-averages*, Physica A **348**, 110-120 (2005).
- [14] A. Carati: *On the existence of scattering solutions for the Abraham-Lorentz-Dirac equation*, Disc. and Cont. Dyn. Syst. B, **6**, 471-480 (2006).
- [15] A. Carati, *On the definition of temperature using time-averages*, Physica A **369**, 417-431 (2006).
- [16] A. Carati, L. Galgani: *Metastability in specific heat measurements: simulations with the FPU model*, Europhysics Letters **75**, 528-534 (2006).
- [17] A. Carati, L. Galgani, A. Giorgilli, S. Paleari: *FPU phenomenon for generic initial data*, Phys. Rev. E **76**, 022104 (2007).
- [18] M. Marino, A. Carati, L. Galgani: *Classical light dispersion theory on a regular lattice*, Annals of Physics **322**, 799-823 (2007).
- [19] A. Carati: *An averaging theorem for Hamiltonian dynamical systems in the thermodynamic limit*, Journal of Statistical physics **128**, 1057-1077 (2007).
- [20] A Carati: *On the fractal dimension of orbits compatible with the Tsallis statistics*, Physica A **387**, 1491-1503 (2008).
- [21] A. Carati, S. Cacciatori, L. Galgani *Discrete matter, far fields and dark matter*, Europhysics Letters **83**, 59002 (2008).
- [22] D. Bambusi, A. Carati, T. Penati, *Boundary effects on the dynamics of chains of coupled oscillators*, Nonlinearity **22**, 923-946 (2009).
- [23] A. Carati, L. Galgani, F. Santolini. *On the energy transfer to small scales in a discrete model of one-dimensional turbulence*, CHAOS **19**, 023123 (2009).
- [24] A. Maiocchi, A. Carati, *Relaxation times for Hamiltonian systems*, Comm. Math. Phys. **297**, 427-445 (2010).

- [25] A. Carati, A. Maiocchi, *Exponentially long stability times for a nonlinear lattice in the thermodynamical limit*, Comm. Math. Phys. **314** , 129-161 (2012).
- [26] G. Benettin, A. Carati, L. Galgani, A. Giorgilli: *The Fermi-Pasta-Ulam problem and the metastability perspective* in *The Fermi-Pasta-Ulam Problem: A Status Report*, G. Gallavotti editor, Lecture Notes in Physics , Vol. 728, Springer Verlag (Berlin,2007).
- [27] A. Carati, S. Cacciatori, L. Galgani *Far fields, from electrodynamics to gravitation, and the dark matter problem*, in *Chaos in astronomy*, P. Patzis ed., Springer Verlag (Berlin, 2008).