

IN RICORDO DI / IN MEMORY OF

R. Casalbuoni, D. Dominici

# Il maestro dei *gattini*

*The teacher of the gattini (kittens)*

Il Colle di  
Galileo

**Riassunto.** Viene ricordata la figura di Raoul Gatto, scomparso nel 2017, illustrando la sua carriera e i suoi principali risultati di ricerca, anche tramite i ricordi personali di alcuni suoi collaboratori.

**Parole chiave.** Gatto, QCD, interazioni deboli, Higgs.

Il 30 settembre del 2017 è scomparso a Ginevra Raoul Gatto, un grande maestro della Fisica teorica italiana che ha formato scientificamente numerosi allievi, i cosiddetti *gattini*, e che ha dato notevoli contributi scientifici al progresso della Fisica teorica.

Raoul Gatto era nato a Catania l'8 Dicembre 1930, il padre ingegnere, la madre casalinga. Dopo gli studi secondari, al Liceo Scientifico G. Oberdan di Trieste, come nel caso di altri noti fisici sembrava destinato a studiare ingegneria ma nel 1946 vinse il concorso di accesso alla Scuola Normale Superiore di Pisa e nel 1947 iniziò il corso di laurea in Fisica. Gatto raccontava che gli anni della Normale furono di grande stimolo intellettuale soprattutto per i rapporti con gli studenti della classe di Lettere, alcuni dei quali diventati scrittori famosi come Pietro Citati e Carlo Sgorlon. Nel 1951 si laureò con 110 e lode con una tesi sui modelli a shell dei nuclei, svolta sotto la guida di Bruno Ferretti, che all'epoca occupava la cattedra di Fisica teorica a Roma e di Marcello Conversi, che, insegnando Fisica

Abstract. The figure of Raoul Gatto, who died in 2017, is remembered here, with an illustration of his career and the main results of his research, along with the personal memories of some of those who worked with him.

Keywords. Gatto, QCD, weak interactions, Higgs.

Raoul Gatto, a great master of Italian theoretical physics who had scientifically trained numerous students, the so-called *gattini*, meaning kittens (*gatto* being the Italian word for cat), and made significant scientific contributions to the progress of theoretical physics, died in Geneva on the 30th of September 2017.

Raoul Gatto was born in Catania on the 8th of December 1930. His father was an engineer and his mother a housewife. After his secondary school studies at the Liceo Scientifico G. Oberdan in Trieste, as other well-known physicists he seemed destined to study engineering

sperimentale a Pisa, fu il suo relatore. Dopo la tesi Gatto si trasferì a Roma e fu assistente di Bruno Ferretti, dedicandosi allo studio dei decadimenti deboli degli adroni e delle distribuzioni angolari associate. A Roma Gatto trovò un ambiente molto aperto internazionalmente e di notevoli stimoli scientifici, grazie alla personalità di Edoardo Amaldi e all'eredità della scuola di Enrico Fermi.

Nel 1956 Gatto conseguì la Libera docenza in Fisica teorica e si trasferì al Radiation Laboratory di Berkeley, in California, dove rimase fino al 1957. A Berkeley, dove il gruppo di Louis Alvarez stava scoprendo numerose nuove particelle, utilizzando la camera a bolle, Gatto continuò ad occuparsi della fenomenologia degli iperoni, delle simmetrie delle interazioni deboli e delle conseguenze della violazione di parità nelle interazioni deboli, appena scoperta da parte di Chien-Shiung Wu e dei suoi collaboratori. In particolare Gatto suggerì la conservazione della simmetria di CP (prodotto della coniugazione di carica e di parità), indipendentemente da Landau e Lee e Yang. L'esperimento del 1964 di Fitch e Cronin mostrò poi che anche la simmetria CP è violata.

Rientrato in Italia, nel 1960 Gatto diventò Professore straordinario all'Università di Cagliari dove rimase fino al 1962 commutando con i Laboratori di Frascati dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Nella primavera del 1959, presso i Laboratori di Frascati e sotto la direzione di Giorgio Salvini, era entrato in funzione l'elettro-sincrotrone da 1.1 GeV portando la Fisica italiana alla frontiera delle energie a livello internazionale, essendovi al mondo allora solo altri due acceleratori paragonabili per tipo e dimensioni, uno al Caltech e uno a Cornell. E, nel marzo del 1960, Bruno Touschek tenne a Frascati un seminario sull'importanza

but, in 1946, he won the competition to enter the Scuola Normale Superiore in Pisa and, in 1947, he began a bachelor's degree course in Physics. Gatto said that his years at the Normale provided great intellectual stimulus, especially in relations with students of the Humanity Faculty, some of whom became famous writers such as Pietro Citati and Carlo Sgorlon. In 1951, he graduated with a first class honours degree (110 cum laude), with a thesis on shell nuclei models, under the guidance of Bruno Ferretti, who occupied the chair of theoretical physics in Rome at the time, and Marcello Conversi, who, teaching experimental physics in Pisa, was his mentor. After his thesis, Gatto moved to Rome, where he became Bruno Ferretti's assistant, devoting himself to the study of the weak decay of hadrons and their associated angular distributions. In Rome, Gatto found a very open international environment and remarkable scientific stimuli, thanks to Edoardo Amaldi and the legacy of the Enrico Fermi school.

In particular, Gatto suggested the preservation of CP symmetry (a product of the conjugation of charge and parity), independently of Landau and Lee and Yang. Fitch and Cronin's 1964 experiment showed that CP symmetry is also violated.

Upon returning to Italy in 1960, Gatto became professor at the University of Cagliari where he remained until 1962, commuting with the Frascati Laboratories of the National Institute of Nuclear Physics. In the spring of 1959, at the Frascati Laboratories and under the direction of Giorgio Salvini, the 1.1 GeV electro-synchrotron came into operation, bringing Italian Physics to the frontier of energy at international level, there being only two other accelerators in the world at that time comparable in type and size, one at Caltech and one at Cornell. In March

di uno studio sistematico delle collisioni tra elettroni ( $e^-$ ) e positroni ( $e^+$ ) e su come queste potessero essere ottenute con fasci di elettroni e positroni circolanti in direzioni opposte nello stesso anello, utilizzando un solo magnete. Sarà l'avvio del progetto AdA (Anello di Accumulazione), il primo collisionatore al mondo  $e^+e^-$  con una energia per fascio di 220 MeV e pertanto pari a 440 MeV nel sistema del centro di massa. AdA sarà poi seguito dal progetto ADONE, ancora un collisionatore  $e^+e^-$ , con una energia nel centro di massa di circa 3 GeV.

Nel 1960 Gatto iniziò una collaborazione con Nicola Cabibbo, che si era laureato nel 1958 con Touschek, per studiare la fenomenologia delle collisioni elettrone-positrone ad alte energie. Questo articolo sarà chiamato dai fisici di Frascati *La Bibbia* per la completezza del suo contenuto per le potenziali applicazioni ad AdA e ADONE. Con Cabibbo Gatto scrisse anche un lavoro in cui la simmetria SU(3) era utilizzata nelle interazioni deboli. Questo lavoro sarà alla base del lavoro in cui Cabibbo introdusse l'angolo diventato poi noto come l'*angolo di Cabibbo*. Dal 1960, ovvero dalla sua creazione, Gatto fu anche Direttore del Gruppo teorico dei Laboratori Nazionali di Frascati fino al 1964.

Un episodio divertente su quel periodo è ricordato da Mario Greco e Giulia Pancheri: "All'epoca per poter fare una tesi in fisica teorica, si doveva fare un piccolo esame, cioè risolvere un problema assegnato da uno dei membri del gruppo teorico. I più bravi studenti di quegli anni vi si cimentavano. Fu così che a Frascati comparvero i due laureandi di Gatto, Guido Altarelli e Franco Buccella, quest'ultimo detto "l'altro laureando" a causa di un piccolo scherzo fatto alle loro spalle da Gianni De Franceschi, un giovane teorico che stava a Frascati e che

1960, Bruno Touschek held a seminar in Frascati on the importance of a systematic study of the collisions between electrons ( $e^-$ ) and positrons ( $e^+$ ) and on how these could be obtained with electron and positron beams circulating in opposite directions in the same ring, using just one magnet. This was the launch of the AdA (Anello di Accumulazione or Accumulation Ring) project, the first  $e^+e^-$  collision device in the world with a 220 MeV energy beam, and therefore 440 MeV in the mass centre system. AdA was to be followed by the ADONE project, another  $e^+e^-$  collider, with about 3 GeV energy in the centre of mass.

In 1960 Gatto began a collaboration with Nicola Cabibbo, who graduated in 1958 with Touschek, to study the phenomenology of high-energy positron electron collisions. The physicists of Frascati called this article *The Bible*, due to the completeness of its content for potential applications to AdA and ADONE. With Cabibbo, Gatto also wrote a work in which SU(3) symmetry was used in weak interactions. This work formed the basis of the work in which Cabibbo introduced the angle that later became known as the Cabibbo angle. From the time of its creation in 1960 until 1964, Gatto was also Head of the Theoretical Group of National Laboratories of Frascati.

An amusing episode from that time is remembered by Mario Greco and Giulia Pancheri [Greco, 2008]: "At the time, in order to write a thesis on theoretical physics, you had to sit a short test, solving a problem assigned by one of the members of the theoretical group. The best students of the time were involved. And so it was that Gatto's two graduands, Guido Altarelli and Franco Buccella, appeared in Frascati. The latter was known as "the other graduand"

si occupava di teoria dei gruppi. De Franceschi si era laureato con Marcello Cini ed era arrivato a Frascati con una borsa di studio nel settembre 1960. Aveva poi iniziato a collaborare con Gatto e Cabibbo. De Franceschi era bravissimo nell'imitare le voci e un giorno, a Frascati, dal telefono della stanza accanto, chiamò Altarelli e fingendo di essere Gatto, gli fece una terribile lavata di capo, accusando lui e "l'altro laureando" di non lavorare abbastanza ed essere dei fannulloni."

Nell'anno accademico 1962/63 Gatto si trasferì all'Università degli Studi di Firenze (vedi Fig. 1) a ricoprire la cattedra lasciata libera da Morpurgo. Illustriamo il contesto scientifico in cui Gatto venne a trovarsi, indicando in Tabella 1 la composizione dei gruppi di ricerca della fisica fiorentina in quel periodo.

Un anno dopo il suo arrivo, il 19 novembre 1963, Gatto venne nominato presidente della Scuola di Perfezionamento e a dicembre dello stesso anno riuscì ad ottenere cinque borse di studio di un milione di lire per permettere un anno di frequenza alla scuola per Emilio Borchì, che si era laureato a Firenze e per Enrico Giusti, Guido Altarelli, Franco Buccella e Giovanni Gallavotti, che si erano laureati a Roma con tesi di Elettrodinamica in processi rilevanti per gli anelli di accumulazione. Ecco come Gatto stesso ricordava quel periodo: "In un certo senso Firenze fu la mia prima sede universitaria. A Cagliari, anche se ci avevo provato, mi era stato impossibile creare un gruppo consistente (isolamento, assenza totale dell'INFN, povertà finanziaria). Molti giovani a Roma avevano avuto rapporti scientifici con me, e quando appresero del mio trasferimento a Firenze fecero presente il loro desiderio di seguirmi. Ma i mezzi finanziari erano quasi nulli. C'erano in sede per fortuna (Marco) Ademollo, (Giorgio) Longhi, (Claudio) Chiuderi,

because of a prank played behind their backs by Gianni De Franceschi, a young theorist at Frascati who dealt with group theory. De Franceschi had graduated with Marcello Cini and arrived in Frascati with a scholarship in September 1960. He had then started collaborating with Gatto and Cabibbo. De Franceschi was very good at imitating voices and one day, in Frascati, he called Altarelli from the telephone in the next room and, pretending to be Gatto, gave him a thorough telling off, accusing him and the "other graduand" of not working enough and of being slackers."

In academic year 1962/63, Gatto moved to the University of Florence (see Fig. 1) to cover the chair left free by Morpurgo. The scientific context in which Gatto found himself is illustrated here, with Table 1 indicating the composition of the research groups of Florentine physics at that time.

A year after his arrival, on the 19th of November 1963, Gatto was appointed president of the Scuola di Perfezionamento and in December of the same year, he managed to obtain five scholarships with a value of one million Italian Lira, to allow a year of attendance of the school by Emilio Borchì, who had graduated in Florence, and by Enrico Giusti, Guido Altarelli, Franco Buccella and Giovanni Gallavotti, who had graduated in Rome with theses on Electrodynamics in processes relevant to accumulation rings. This is how Gatto himself remembered that time: "In a certain sense, Florence was my first university. In Cagliari, although I had tried, it had been impossible for me to create a consistent group (isolation, total absence of INFN, financial poverty). Many young people in Rome had had scientific relations with me, and when

Tabella 1

**Gruppi di ricerca presenti a Firenze nel 1962 nei quattro Istituti di Fisica, Fisica Teorica, Astronomia e Fisica Superiore**

Fisica teorica: problemi a molti corpi, in particolare studio dell'elio liquido. Simone Franchetti, Antonio Mazza

Fisica sperimentale: fisica nucleare di bassa energia. Manlio Mandò, Tito Fazzini, Mario Bocciolini, Pier Giorgio Bizzeti, Anna Maria Bizzeti Sona, Pietro Sona, Giuliano Di Caporiacco, Marco Giovannozzi

Fisica sperimentale: ricerche di fisica delle alte energie con emulsioni fotografiche. Michele Della Corte, Maria Grazia Daghiana, Anna Cartacci, Giuliano Di Caporiacco

Fisica teorica delle particelle elementari. Raoul Gatto, Marco Ademollo, Claudio Chiuderi, Giorgio Longhi

Didattica: Marco Giovannozzi

Centro Microonde: Nello Carrara, Giuliano Toraldo di Francia

Astronomia: Giorgio Abetti, Guglielmo Righini, Giovanni Godoli, Maria Cristina Ballario, Mario Rigutti, Giancarlo Noci

(Emilio) Borchi, (Mario) Poli e (Giovanni) Martucci, che fui lieto di trattenere, anche se non li conoscevo. Quasi tutti i nuovi venuti vennero con mezzi finanziari delle loro sedi o acquisiti altrimenti... Per questo fu impossibile trattenerli a lungo a Firenze. La base finanziaria del gruppo era quindi debole e transitoria. Per fortuna Cabibbo aveva un contratto americano che gli permise di prenderne alla fine qualcuno almeno per brevi durate. Un esempio tipico è quello di (Luciano) Maiani. Luciano aveva fatto una tesi di fisica sperimentale con (Mario) Ageno alla Sanità. Ma decise di passare alla fisica teorica. Ageno era un mio amico. Mi telefonò a Firenze e mi disse se potevo prendere Luciano, che non avevo mai

Table 1

Research groups present in Florence in 1962 in the four Institutes of Physics, of Theoretical Physics, of Astronomy and of Fisica Superiore

Theoretical physics: problems with many bodies, particularly the study of liquid helium. Simone Franchetti, Antonio Mazza

Experimental physics: low energy nuclear physics. Manlio Mandò, Tito Fazzini, Mario Bocciolini, Pier Giorgio Bizzeti, Anna Maria Bizzeti Sona, Pietro Sona, Giuliano Di Caporiacco, Marco Giovannozzi

Experimental physics: research into the physics of high energies with photographic emulsions.

Michele Della Corte, Maria Grazia Daghiana, Anna Cartacci, Giuliano Di Caporiacco

Theoretical physics of elementary particles. Raoul Gatto, Marco Ademollo, Claudio Chiuderi, Giorgio Longhi

Didactics: Marco Giovannozzi

Microwave Centre: Nello Carrara, Giuliano Toraldo di Francia

Astronomy: Giorgio Abetti, Guglielmo Righini, Giovanni Godoli, Maria Cristina Ballario, Mario Rigutti, Giancarlo Noci

they learned of my move to Florence they made it known that they wanted to follow me. But there was virtually no funding available. Luckily, (Marco) Ademollo, (Giorgio) Longhi, (Claudio) Chiuderi, (Emilio) Borchi, (Mario) Poli and (Giovanni) Martucci were there, and I was happy to work with them, despite the fact that I didn't know them. Almost all newcomers came with financial means from their offices or with other types of funding... This made it impossible to



Figura 1. Gatto nel periodo fiorentino.

Figure 1. Gatto during the Florentine period.

keep them in Florence for long. The group's financial base was therefore weak and transitional. Luckily, Cabibbo had an American contract that allowed him, in the end, to take some at least for a short time. A typical example is that of (Luciano) Maiani. Luciano had completed a thesis on experimental physics with (Mario) Ageno at the Ministry of Health. But he decided to move on to theoretical physics. Ageno was a friend of mine. He called me in Florence and asked me if I could take Luciano, whom I had never seen. I trusted Ageno's scientific intuition, but told him that I had no money. And Maiani was sent to Florence. Of course, Arcetri suffered tremendous setbacks. ... Arcetri remained in total darkness in the evening and at night. But the boys (and I myself) also wanted to work at night. The battle for night lights was tough, due to opposition, for example, by Sassolini (the caretaker, ed) who was worried about security. Franchetti helped me and had the brilliant idea of telling Sassolini and the others who shared his negative opinion that lighting would actually discourage those with ill intentions. So we could work at night too. (Answers by R. Gatto to some of Casalbuoni's questions).

And again: "Marco Ademollo was one of the most continuous collaborators within the group. It's interesting that one of Marco's initial interests was related to a problem with formal aspects that were somewhat taxing but which, in a sense, remained marginal: the problem of spin determination. In fact, at that time, discoveries of new particles and resonances followed one another ceaselessly, and rapid and complete methods were needed to determine the spin, starting from various angular correlations. Giuliano Preparata later joined this line of research. Marco's interest later shifted, as it did for the whole group, to the properties of symmetry. The

visto. Mi fidai dell'intuito scientifico di Ageno, ma dissi che non avevo soldi. E Maiani fu inviato a Firenze. Naturalmente Arcetri subì dei grossi contraccolpi. ... Arcetri restava nel buio totale la sera e la notte. Ma i ragazzi (ed anche io stesso) volevano lavorare anche la notte. La battaglia per avere delle luci notturne fu dura, per l'opposizione ad esempio del Sassolini (il custode, ndr) che temeva per la sicurezza. Franchetti mi aiutò ed ebbe l'idea giusta di dire a Sassolini ed agli altri piuttosto negativi che al contrario l'illuminazione avrebbe scoraggiato eventuali male intenzionati. Così potemmo lavorare anche la notte." (risposta di R. Gatto ad alcune domande di Casalbuoni).

Ed ancora: "Marco Ademollo fu uno dei più continui collaboratori in seno al gruppo. È interessante che uno degli interessi iniziali di Marco fu su un problema, con aspetti formali piuttosto ardui, ma in un certo senso rimasto poi marginale: il problema della determinazione degli spin. Infatti in quegli anni le scoperte di nuove particelle e risonanze si succedevano senza posa e servivano metodi rapidi e completi per determinarne gli spin, a partire da varie correlazioni angolari. A questa linea di ricerca si associò in seguito Giuliano Preparata. L'interesse di Marco si spostò in seguito, un po' come per tutto il gruppo, sulle proprietà di simmetria. Il teorema di non-rinormalizzazione fu ottenuto attraverso un metodo algebrico (È noto come Teorema di Ademollo-Gatto, ndr). I sottogruppi collineari furono uno degli interessi successivi. A questa linea si era inizialmente interessato Franco Buccella. Successivamente se ne interessarono, oltre a Ademollo, anche Longhi e (Gabriele) Veneziano. Un altro interesse di quell'epoca furono le *sidewise dispersion relations* su cui lavorarono oltre a Ademollo, nel seguito

non-normalisation theorem was obtained using an algebraic method (known as the Ademollo-Gatto Theorem, ed). Collinear subgroups were one of the subsequent interests. Franco Buccella was initially interested in this line. Later, in addition to Ademollo, Longhi and (Gabriele) Veneziano showed an interest too. Also of interest at that time were sidewise dispersion relations, on which Ademollo's work was followed by the activity of (Roberto) Casalbuoni and Longhi. Longhi's activity was long and constant. In addition to what has already been mentioned, he dealt at length with the electronic positron radiation corrections. Altarelli and Buccella had already dealt with the subject in their thesis in Rome. Longhi worked on it with Altarelli, (Enrico) Celeghini, and (Silvio) De Gennaro. Pino Furlan also collaborated in this research.

Also on electron-positron, Longhi dealt with barionic resonances, together with Casalbuoni. The topic had already been dealt with by Celeghini, after his work on  $\eta_0$ . Celeghini was one of the first to come to Florence from outside, and later participated in the work on the saturation of the algebra of the currents.

A special mention should go to Borchì's activity, especially for his work on what was the first classification of mesonic resonances obtained by guessing that these resonances were part of a p-wave multiplet. The foundation of this classification, which was then very speculative, has proved to be correct over time and continues to be accepted, as stated in recent works by 't Hooft, Maiani, et al. Maiani, Preparata, Longhi and Veneziano furthered these studies shortly after. At that time there was considerable uncertainty regarding mesonic resonances. It was a question of sorting through Particle Data and seeing if you could make an at-

anche (Roberto) Casalbuoni e Longhi. L'attività di Longhi fu lunga e costante. Oltre a quanto già menzionato, si occupò lungamente delle correzioni radiative in elettrone-positrone. L'argomento era già stato trattato da Altarelli e Buccella nella loro tesi di laurea a Roma. Longhi se ne occupò con Altarelli, (Enrico) Celeghini, e (Silvio) De Gennaro. Pino Furlan collaborò a queste ricerche.

Sempre su elettrone-positrone Longhi si occupò delle risonanze barioniche, insieme a Casalbuoni. L'argomento era già stato trattato da Celeghini, dopo i suoi lavori sull' $\eta_0$ . Celeghini, fu uno dei primi a venire a Firenze da altra sede, e partecipò in seguito ai lavori sulla saturazione dell'algebra delle correnti.

Una menzione particolare merita l'attività di Borchì soprattutto per il suo lavoro su quella che fu la prima classificazione delle risonanze mesoniche ottenuta congetturando che queste risonanze facessero parte di un multipletto di onda-p. L'essenziale di questa classificazione, allora molto congetturale, si è poi nel tempo rivelata corretta ed è rimasta accettata, come dai recenti lavori di 't Hooft, Maiani, ed altri. Maiani, Preparata, Longhi e Veneziano approfondirono questi studi poco dopo. A quell'epoca regnava la più grande incertezza concernente le risonanze mesoniche. Si trattava di rovistare i dati del *Particle Data* e vedere se si poteva fare un tentativo di classificazione. L'introduzione di onde p apparve necessaria. Va menzionato che Borchì aveva anche contribuito a lavori sui muoni (cattura radiativa) studiando la possibile utilizzazione dei dati per la verifica delle proprietà delle correnti deboli. Una attività notevole del gruppo fu dedicata alla ricerca di proprietà di simmetria delle interazioni forti, cercando di sfruttare il successo fenomenologico di SU(6), poi apparso difficile da formulare sul piano teorico. In

tempt at classification. The introduction of p waves seemed necessary. It should be mentioned that Borchì had also contributed to work on muons (radiative capture) by studying the possible use of data to verify the properties of weak currents. A notable activity of the group was dedicated to the search for properties of symmetry of strong interactions, trying to exploit the phenomenological success of SU(6), which then seemed difficult to formulate on a theoretical level. Altarelli, Buccella, Maiani and Preparata were at the forefront in participation in this theoretically complex effort.

Buccella and Veneziano became interested (together with Okubo) in the thorny problem of Schwinger's (then almost unknown) terms.

Also worthy of mention is Altarelli and Buccella's interest in the non-leptonic decay of hyperons, which led at that time to suggest relations between amplitudes, later proved correct, despite the uncertain theoretical foundation SU(6).

Gallavotti, who possessed a vast mathematical culture, wanted to tackle the problems of statistical mechanics and clarify delicate matters, such as the structure of the invariance of gauges in Electrodynamics. Along with him, a mention should go to the presence of people with a clear mathematical tendency, such as (Enrico) Giusti, (Umberto) Mosco and, above all, (Giuseppe) Da Prato. The mathematical interest of these young men came from theoretical physics and their participation in discussions and seminars was constant. They went on to have brilliant careers in mathematics." (Gatto speaking about the theoretical physicists of the Florentine period). At the Europhysics conference of 1968, Harry Lipkin coined for this Floren-



prima linea furono Altarelli, Buccella, Maiani e Preparata a partecipare a questo sforzo, teoricamente complesso.

Buccella e Veneziano si interessarono (insieme a Okubo) allo spinoso problema dei termini di Schwinger (allora quasi sconosciuti).

Di Altarelli e Buccella va anche menzionato l'interesse ai decadimenti non-leptonici degli iperoni, che portò a quel tempo a suggerire relazioni tra le ampiezze, poi rivelatisi corrette, malgrado l'incerto fondamento teorico SU(6).

Gallavotti, dotato di vastissima cultura matematica, volle affrontare problemi di meccanica statistica e chiarire questioni delicate, come per esempio la struttura della invarianza di gauge in Elettrodinamica. Accanto a lui va anche menzionata la presenza di persone dalla chiara tendenza matematica, come (Enrico) Giusti, (Umberto) Mosco, e soprattutto (Giuseppe) Da Prato. L'interesse matematico di questi giovani venne dalla fisica teorica e costante fu la loro partecipazione alle discussioni e ai seminari. In seguito hanno avuto brillanti carriere in matematica." (Gatto sui fisici teorici del periodo fiorentino)

Harry Lipkin, nella conferenza Europhysics del 1968, conìò per questa scuola fiorentina creata da Gatto il nome di new Florentine Renaissance.

Gatto non si faceva vedere molto in giro per l'Istituto di Fisica. Per lo più rimaneva a lavorare chiuso nella sua stanza. Accanto alla sua porta, nel corridoio, c'era una lampada a due colori, rosso e verde. Era possibile entrare nel suo ufficio solo se la luce era verde. Periodicamente riceveva i suoi assistenti per fare il punto sui lavori che stavano seguendo.

A causa di queste riunioni, che a volte si protraevano nel tempo, Gatto arrivava

tine school created by Gatto the name of new Florentine Renaissance.

Gatto was not seen much around the Institute of Physics. He mostly stayed shut away in his room to work. Next to his door, in the hallway, there was a lamp with two colours of light, red and green. You could only enter his office if the light was green. He regularly received his assistants to take stock of the work they were doing. Because of these meetings, which sometimes lasted a long time, Gatto was often very late for lessons, a habit not appreciated by his students who had to endure lessons continuing until well after 2.00 p.m. and were forced to make considerable efforts to follow the explanations despite being starving.

In 1966, Gatto decided to enlarge the group and began a recruitment campaign among the third-year students, sitting in on the exams of Institutions of Theoretical Physics, a course held by Ademollo, while Gatto taught Theoretical Physics, and offering the students who seemed most promising the chance to do a thesis in Theoretical Physics. This is how Roberto Casalbuoni, Luca Lusanna, Paolo Gensini, Antonio Conti and Renzo Collina were recruited. Emanuele Sorace was already working on a thesis with Franco Buccella. It was very important to Gatto that his students be in the best position to study and prepare their thesis. He decided to use a corridor on the first floor of the Institute to have Rossi (the Institute's carpenter) build six wooden cubicles. These cubicles were then furnished with a desk, a small bookcase, a table lamp and an electric heater. These tiny "offices" were used in the years that followed by all the theoretical students.

After taking leave from 1-10-1967 to 30-9-1968, Gatto moved to the University of Padua in the 1968/69 academic year. In Padua he began working with Giuseppe Sartori and Gui-

a lezione con notevoli ritardi, un'abitudine non molto apprezzata dai suoi studenti che vedevano prorogarsi il termine della lezione ben oltre le ore 14 ed erano costretti a notevoli sforzi per seguire le spiegazioni nonostante la fame lancinante.

Nel 1966 Gatto decise di allargare il gruppo ed iniziò una campagna di reclutamento tra gli studenti del terzo anno, presenziando agli esami di Istituzioni di Fisica Teorica, corso tenuto da Ademollo, mentre Gatto insegnava Fisica Teorica e proponendo agli studenti che gli apparivano più promettenti di fare una tesi in Fisica Teorica. In questo modo furono reclutati Roberto Casalbuoni, Luca Lusanna, Paolo Gensini, Antonio Conti e Renzo Collina. Emanuele Sorace era già in tesi con Franco Buccella. Gatto teneva molto al fatto che i suoi studenti fossero nelle condizioni migliori per poter studiare e preparare la tesi. Decise così di sfruttare un corridoio al primo piano dell'Istituto per far costruire al Rossi (il falegname dell'Istituto) sei box in legno. Questi box furono poi arredati di una scrivania, di un piccolo scaffale per i libri, di una lampada da tavolo e di una stufetta elettrica. Questi minuscoli "uffici" furono usati negli anni successivi da tutti gli studenti teorici.

Gatto, dopo esser stato in congedo dal 1-10-1967 al 30-9-1968, nell'anno accademico 1968/69 si trasferì all'Università di Padova. A Padova iniziò a collaborare con Giuseppe Sartori e Guido Tonin scrivendo un lavoro in cui venne per la prima volta suggerita la possibilità di una connessione tra l'angolo di Cabibbo e le masse dei quark.

L'esame di tesi per Casalbuoni, Lusanna, Gensini, Conti e Collina si svolse il 20 Marzo 1969 e Gatto presenziò all'esame in qualità di relatore delle tesi di Casalbuoni e Lusanna. Lusanna dovette partire poco dopo per il servizio militare, ma

do Tonin, writing a work in which the possibility of a connection between the Cabibbo angle and quark masses was suggested for the first time.

The thesis examination for Casalbuoni, Lusanna, Gensini, Conti and Collina took place on the 20th of March 1969 and Gatto attended the examination as supervisor for the theses of Casalbuoni and Lusanna. Lusanna had to leave shortly after for military service, but Gatto immediately set to work for Casalbuoni, assigning him an INFN position of temporary R6, starting from the first of April of the same year, pending the announcement of ministerial grants for the following year.

Longhi had also collaborated as a co-supervisor for Casalbuoni's thesis on the saturation of the algebra of currents using relativistic equations with an infinite number of components. This thesis generated a collaboration with Gatto that continued until 1971, also favoured by the fact that Casalbuoni had obtained a scholarship which he spent in Padua in 1970.

In 1971, Gatto moved to the University of Rome where, together with Sergio Ferrara, Aurelio Grillo and Giorgio Parisi, he wrote important works on the conformal group and, in particular, the two-dimensional conformal anomaly. In 1975 he began a collaboration with Riccardo Barbieri, Reinhart Kogerler and Zoltan Kunszt on the calculation of the widths of mesonic resonances with a confining potential, a project that continued after Gatto moved to the University of Geneva in 1976/77 to occupy the prestigious chair previously held by Stueckelberg.

Once in Geneva, Gatto did not form a theoretical group as he had done in the Florentine period. Instead, he used to invite many visiting researchers to the Department of Theoretical

Gatto si dette subito da fare per Casalbuoni conferendogli una posizione INFN di R6 supplente, a partire dal 1 aprile dello stesso anno, in attesa del bando delle borse ministeriali per l'anno successivo.

Al lavoro di tesi di Casalbuoni, sulla saturazione dell'algebra delle correnti tramite l'uso di equazioni relativistiche con un numero infinito di componenti, aveva collaborato anche Longhi come correlatore. Da questa tesi nacque una collaborazione con Gatto che continuò sino al 1971, anche favorita dal fatto che Casalbuoni aveva ottenuta una borsa di studio che, nel 1970, spese a Padova.

Nel 1971, Gatto si trasferì all'Università di Roma dove con Sergio Ferrara, Aurelio Grillo e Giorgio Parisi scrisse lavori importanti sul gruppo conforme e in particolare derivò l'anomalia conforme in 2 dimensioni. Nel 1975 iniziò una collaborazione con Riccardo Barbieri, Reinhart Kogerler e Zoltan Kunszt sul calcolo delle larghezze di risonanze mesoniche con un potenziale confinante, un progetto che si protrasse anche dopo che Gatto si trasferì nel 1976/77 all'Università di Ginevra, a occupare la prestigiosa cattedra tenuta in precedenza da Stuckelberg.

Una volta a Ginevra Gatto non pensò di formare un gruppo teorico come aveva fatto nel periodo fiorentino ma, in compenso, era solito invitare molti ricercatori in visita per periodi più o meno lunghi al Dipartimento di Fisica Teorica di Ginevra. All'inizio continuò alcune delle sue precedenti collaborazioni con Barbieri, Kogerler, Kunstz, Sartori, Vendramin e Celeghini, ma poi ne iniziò anche di nuove con Franco Strocchi e Giovanni Morchio, provenienti da Pisa, e Francesco Paccanoni, da Padova. A Ginevra Gatto aveva un assistente, Carlos Savoy, ricercatore brasiliano che era a Padova negli anni in cui Gatto era Professore in

Physics in Geneva for varying periods of time. In the beginning, he continued some of his previous collaborations with Barbieri, Kogerler, Kunstz, Sartori, Vendramin and Celeghini, but then also began new ones with Franco Strocchi and Giovanni Morchio, from Pisa, and Francesco Paccanoni, from Padua. In Geneva Gatto had an assistant, Carlos Savoy, a Brazilian researcher who was in Padua when Gatto was Professor at the university. Savoy and Mario Abud (a PhD student in Geneva) collaborated with him at that time.

In 1979 Gatto resumed his collaboration with Florence thanks to a three-month stay by Casalbuoni at CERN. After a seminar by Haim Harari on the rishon model, a model in which quarks and leptons appeared as states composed of new particles, rishons, Gatto and Casalbuoni, while discussing the results, came up with the idea of using fermionic oscillators for a unified description of quarks and leptons. This was the new beginning of a collaboration that was to last until 2006.

In 1980 Gatto began a collaboration with Michele Caffo and Ettore Remiddi, both from Bologna, and with Barbieri on strong radiative corrections to the decay of quarkonium.

Gatto's collaboration with Casalbuoni on composite models for quarks and leptons was extended in 1982 to Francesco Bordi, who graduated with Casalbuoni, and Daniele Domini, who had done his thesis with Longhi. These studies ended in 1983 with the proposal of a supersymmetric composite model. This line of research aimed at determining explicit models ended when interest shifted to the indirect effects of this kind of physics, possibly independently of the models themselves.

quell'ateneo. Savoy e Mario Abud (studente di PhD a Ginevra) collaborarono con lui in quel periodo.

Nel 1979 Gatto riprese la collaborazione con Firenze grazie a un soggiorno di tre mesi di Casalbuoni al CERN. Dopo un seminario di Haim Harari sul modello a *riscioni*, un modello in cui quark e leptoni figuravano come stati composti di nuove particelle, i *riscioni*, discutendo i risultati esposti, a Gatto e Casalbuoni venne l'idea di sfruttare degli oscillatori fermionici per una descrizione unificata di quark e leptoni. Sarà il nuovo inizio di una collaborazione che durerà fino al 2006.

Nel 1980 Gatto iniziò con Michele Caffo e Ettore Remiddi, entrambi di Bologna, e con Barbieri una collaborazione sulle correzioni radiative forti al decadimento del quarkonio.

La collaborazione di Gatto con Casalbuoni sui modelli composti per quark e leptoni venne estesa nel 1982 a Francesco Bordi, laureatosi con Casalbuoni, e di Daniele Dominici, che aveva fatto la propria tesi con Longhi. Questi studi ebbero termine nel 1983 con la proposta di un modello composto supersimmetrico. Questo filone di ricerca volto alla determinazione di modelli espliciti, terminò di fatto quando l'interesse si spostò sugli effetti indiretti di una tale fisica, in modo possibilmente indipendente dai modelli stessi.

Sulla scia della tesi sulla rottura dinamica della simmetria in QCD sostenuta nel 1983 da Stefania De Curtis sotto la guida di Casalbuoni, nacquero numerosi lavori in collaborazione con Gatto che terminarono nel 1988 con un lavoro sulla determinazione della massa dei quark che fu citato dal Particle Data Group come una delle stime, esistenti a quel tempo, di questi importanti parametri. A que-

In the wake of the thesis on the dynamical breaking of symmetry in QCD discussed, in 1983, by Stefania De Curtis under the guidance of Casalbuoni, many works were begun in collaboration with Gatto, ending in 1988 with a work on the determination of the mass of quarks that was cited by the Particle Data Group as one of the estimates, existing at that time, of these important parameters. Andrea Barducci, De Curtis, Casalbuoni and Dominici participated in this research. Although the style with which Gatto led this group was different from that used in Florence, there began to be a substantial group of Florentine researchers who gravitated to the Department of Theoretical Physics in Geneva, staying for varying period of time.

Stefania De Curtis recalls "My first period at the University of Geneva was immediately after the discussion of my thesis. We had derived a modified version of the action for composite operators to study the dynamical symmetry breaking in theories with confining strong interaction, and Raoul was very interested in the subject. He asked me to explain some details of the derivation. I was fresh from "calculations", so I wasn't intimidated. We spent a whole afternoon at the blackboard, Raoul wanted to know everything, asking specific questions, and I, knowing the answers, was, let's say, proud to show him the results we had obtained with Roberto. I later learned that Raoul was impressed by my attitude and had asked Roberto if I was a member of the feminist movement. I never understood the link between the dynamical symmetry breaking and feminists. Probably Raoul was not used to working with women!

Whatever, this earned me a place among the kittens. Raoul later proposed that I do a doctorate at the Institute of Theoretical Physics at the University of Geneva. I opted instead for

sta ricerca parteciparono Andrea Barducci, De Curtis, Casalbuoni e Dominici. Sebbene lo stile con cui Gatto conduceva questo gruppo fosse diverso da quello usato ai tempi di Firenze, cominciava ad esserci un consistente gruppo di ricercatori fiorentini che gravitavano presso l'Istituto di Fisica Teorica di Ginevra con soggiorni più o meno lunghi.

Ricorda Stefania De Curtis "Il mio primo periodo presso l'Università di Ginevra fu subito dopo la discussione della mia tesi di laurea. Avevamo derivato una versione modificata dell'azione effettiva per operatori composti per lo studio della rottura dinamica della simmetria in teorie con interazione forte confinante, e Raoul era molto interessato all'argomento. Mi chiese di illustrare alcuni dettagli della derivazione. Io ero fresca di "calcoli" quindi non mi lasciai intimidire. Un pomeriggio intero alla lavagna, Raoul voleva sapere tutto, faceva domande puntuali ed io, conoscendo le risposte, ero, diciamo così, orgogliosa di mostrare i risultati che avevamo ottenuto con Roberto. Ho saputo in seguito, che Raoul rimase colpito dal mio atteggiamento, e chiese a Roberto se facessi parte del movimento femminista. Non ho mai capito quale fosse il collegamento tra la rottura dinamica della simmetria e le femministe, probabilmente Raoul non era abituato a collaboratrici donne! Comunque sia, questo mi fece guadagnare un posto tra i *gattini*. Raoul mi propose in seguito di fare il dottorato presso l'Istituto di Fisica Teorica dell'Università di Ginevra. Io optai invece per la SISSA, ma la nostra collaborazione continuò, su vari argomenti, per più di 20 anni."

Una interruzione sulla linea di ricerca di QCD si verificò nel 1985. Il Modello Standard era ormai pienamente accettato, specie dopo la scoperta dei bosoni

SISSA, but our collaboration continued, on various topics, for more than 20 years."

A break in the QCD line of research occurred in 1985. The Standard Model was now fully accepted, especially after the discovery of the vector bosons W and Z. Apart from precision checks, for which the beginning of the LEP (Large Electron Positron collider) operation at CERN was awaited, the missing element (in addition to the quark top) was the Higgs boson, on which the mechanism of electro-weak symmetry breaking rested. Given the lack of experimental information on the matter, the idea began to circulate that the breaking mechanism was more complex, with the possibility that it was due to a strong interaction on the TeV scale, similar to QCD, called technicolor. Again, interest revolved around the possible low-energy effects of such an interaction. Gatto and the Florentine group, Casalbuoni, De Curtis and Dominici, formulated an effective theory for such a scenario, which envisaged the existence of new vector bosons. This collaboration was facilitated by Dominici's stay at the University of Geneva for two years. Meanwhile, Gatto continued to collaborate with Sartori on the symmetry breaking, and with Caffo and Remiddi on the physics that could be explored at LEP.

Studies on Higgs continued for a long time. In addition to the phenomenological study of the model that had been introduced by the collaboration, the so-called unitarity limits that allowed the derivation of theoretical limits on the mass of the Higgs were also investigated. Carlo Giunti, another student of Casalbuoni, also participated in this research, as did Ferruccio Feruglio from 1987, having arrived in Geneva that year as a PhD student of Gatto.

vettoriali  $W$  e  $Z$ . A parte le verifiche di precisione, per le quali si aspettava l'inizio del funzionamento di LEP (Large Electron Positron collider) al CERN, l'elemento mancante (oltre al quark top) era il bosone di Higgs, sul quale si appoggiava il meccanismo di rottura della simmetria elettro-debole. Vista la mancanza di informazioni sperimentali in merito, cominciava a circolare l'idea che il meccanismo di rottura fosse più complesso, con la possibilità che fosse dovuto ad una interazione forte alla scala del TeV, simile a QCD, denominata *technicolor*. Anche in questo caso ciò che interessava erano i possibili effetti a bassa energia di una tale interazione. Gatto e il gruppo fiorentino, Casalbuoni, De Curtis e Dominici, formularono una teoria effettiva per un tale scenario, che prevedeva l'esistenza di nuovi bosoni vettoriali. Questa collaborazione fu facilitata dal soggiorno di Dominici all'Università di Ginevra per un periodo di due anni. Nel frattempo Gatto continuava con Sartori la collaborazione sulla rottura di simmetria, e con Caffo e Remiddi gli studi sulla fisica che poteva essere esplorata a LEP.

Gli studi sull'Higgs continuarono a lungo. Oltre allo studio fenomenologico del modello che era stato introdotto dalla collaborazione, furono investigati i così detti limiti di unitarietà che permettevano di derivare dei limiti teorici sulla massa dell'Higgs. A queste ricerche parteciparono anche Carlo Giunti, un altro studente di Casalbuoni, e dal 1987 Ferruccio Feruglio, che era arrivato nel 1987 a Ginevra come studente di PhD di Gatto.

Nel 1987 Casalbuoni vinse il concorso a cattedra e fu chiamato a Lecce. Dato che l'insegnamento lo coinvolgeva solo per un semestre, fino al momento in cui fu richiamato a Firenze nel 1990, usava passare il resto del tempo come visitatore

In 1987, Casalbuoni won a place as professor and was called to Lecce. Since teaching involved him only for a semester, until he was called back to Florence in 1990, he used to spend the rest of his time as a visitor at the University of Geneva. At that time the group was working at full capacity, supported by regular visits by other Florentines, and Gatto began leading a group again, as revealed in this memory of Feruglio: "...The years spent in Geneva, where I could devote most of my time to research, collaborating with a very active group, were among the best of my professional life. I arrived in Geneva after my military service, during which my research activity had been interrupted for more than a year. Gatto was understanding when I first arrived, and gave me a relatively simple problem to solve, allowing me to recommence my research activity with some confidence. Gatto's ability to find new problems within the reach of young and inexperienced collaborators was exceptional. At the same time I was rather surprised at the way he interacted with the rest of the group. We, his collaborators, had our offices in a building which was detached from the School of Physics at the University of Geneva, where Gatto had his office. Despite the short distance, Gatto never came to our building. He preferred to talk to us over the phone on a daily basis. Every afternoon at around five o'clock, he called one of us to discuss the latest developments in the project we were working on. He would spend an hour or more bringing himself up to date but also making comments, asking questions and giving advice. The job of answering Gatto's penetrating and insistent questions was left to the oldest group member, Roberto Casalbuoni, who patiently and very effectively met his requests. Generally, once a week, the whole group migrated to Gatto's room for a dis-

all'Università di Ginevra. In quel periodo il gruppo di lavoro funzionò a pieno regime, corroborato anche dalle visite periodiche degli altri fiorentini, e Gatto iniziò nuovamente a dirigere un gruppo come traspare in questo ricordo di Feruglio: "...Gli anni trascorsi a Ginevra dove potevo dedicare la maggior parte del mio tempo alla ricerca, collaborando con un gruppo molto attivo, furono tra i migliori della mia vita professionale. Arrivai a Ginevra dopo il servizio militare durante il quale la mia attività di ricerca si era interrotta per più di un anno. Al mio arrivo Gatto fu comprensivo e mi assegnò un problema da risolvere sufficientemente semplice, permettendomi di ricominciare a fare ricerca con una certa confidenza. La capacità di Gatto nel trovare nuovi problemi alla portata di collaboratori giovani ed inesperti era eccezionale. Allo stesso tempo rimasi alquanto stupito sul modo in cui interagiva con il resto del gruppo. Noi, i suoi collaboratori avevamo gli uffici in un edificio staccato dalla Scuola di Fisica dell'Università di Ginevra dove Gatto aveva il suo ufficio. Nonostante la piccola distanza, Gatto non veniva mai nel nostro edificio. Preferiva discutere con noi per telefono con una cadenza giornaliera. Tutti i pomeriggi, verso le cinque lui chiamava uno di noi per discutere gli ultimi sviluppi del progetto sul quale stavamo lavorando. In questo modo, in un'ora o più, si aggiornava ma faceva anche commenti, poneva questioni e forniva consigli. Il compito di rispondere alle questioni penetranti ed insistenti di Gatto era lasciato al collaboratore più anziano, Roberto Casalbuoni, che pazientemente e molto efficacemente soddisfaceva le sue richieste. Generalmente, una volta alla settimana, l'intero gruppo migrava nella stanza di Gatto per una discussione alla lavagna in cui anche alcuni dei collaboratori più giovani

cussion at the blackboard, in which even some of the younger members dared to present some points and some new ideas. These ideas were immediately abandoned if Gatto pronounced the famous words: "Very interesting, I've never seen anything like that in my entire career...". At that point we knew that we were completely off the mark. So, very kindly but very firmly, Gatto stimulated us and directed us towards the realisation of the project we were working on."

To this memory of Feruglio on how the group was organised we have a comment by Casalbuoni to add: "Gatto had an extraordinary ability to identify new research projects. He generally tried to consider new proposals that emerged in literature. A typical problem concerned the models composed for quarks and leptons, on which we started to work immediately after Harari's first proposal. Something similar happened with the Higgs boson studies, when the interest in this particle was stimulated by the announcement of DESY, in 1984, that a particle with a mass of 8.33 GeV had been discovered in Doris. This discovery was not confirmed by other experiments, nor by DESY, but it was important because both theorists and experimentalists were stimulated to deal with the Higgs issue, which had been somewhat neglected until then. Gatto's sixth sense was proverbial among us, not only at research level, but also for more banal things. When the conceptual aspects of a problem were solved and there were only calculations to be made, Gatto left us alone and made himself scarce. But incredibly, as soon as we had finished the calculations, the phone rang, it was Gatto..."

osavano esporre qualche punto e qualche nuova idea. Queste idee venivano immediatamente abbandonate se Gatto pronunciava le famose parole: “Molto interessante, non ho mai visto qualcosa di simile in tutta la mia carriera...”. A quel punto sapevamo di essere completamente fuori strada. Così, molto gentilmente ma in modo molto fermo, Gatto ci stimolava e ci dirigeva alla realizzazione del progetto sul quale stavamo lavorando.”

A questo ricordo di Feruglio su come il gruppo era organizzato aggiungiamo un commento di Casalbuoni: “Gatto aveva una capacità straordinaria ad individuare nuovi progetti di ricerca. In genere cercava di considerare proposte nuove che emergevano nella letteratura. Tipico fu il problema dei modelli composti per quark e leptoni in cui iniziammo a lavorare subito dopo la prima proposta di Harari. Qualcosa di analogo accadde anche per gli studi sul bosone di Higgs, quando l’interesse per questa particella fu stimolato dall’annuncio di DESY, nel 1984, che a Doris era stata scoperta una particella con massa di 8,33 GeV. Questa scoperta non fu poi più confermata né da altri esperimenti, né da DESY, ma fu importante perché in questo modo furono stimolati sia i teorici che gli sperimentali ad occuparsi del problema dell’Higgs, che fino a quel momento era stato un po’ trascurato. Il sesto senso di Gatto era proverbiale tra noi, non solo sul piano della ricerca, ma anche per cose più banali. Quando gli aspetti concettuali di un problema erano risolti e c’erano solo calcoli da fare, Gatto ci lasciava tranquilli e non si faceva vivo. Ma incredibilmente, appena avevamo finiti i calcoli, squillava il telefono, era Gatto...”

Il modello effettivo che il gruppo aveva proposto per la descrizione di un Higgs pesante, si basava sulla teoria delle realizzazioni non-lineari delle simmetrie ed

The effective model that the group had proposed for describing a heavy Higgs was based on the theory of non-linear symmetries and was equivalent to imposing a constraint on the Higgs’ field. In 1988, Gatto had proposed the study of an analogous phenomenon in supergravity, imagining the possibility of a heavy gravitino. This study allowed the formulation of an equivalence theorem, similar to the one valid for ordinary gauge theories. In 1989, these ideas were applied by the group to a supersymmetric theory in which the scalar was heavy, finding that, in this situation, the superfield satisfies the constraint that its square must be zero. These studies have recently been applied to the non-linear realisations of supergravity.

At more or less the same time, Gatto’s collaboration with Barducci, Casalbuoni, De Curtis and Giulio Pettini, another student of Casalbuoni, tackled the study of QCD at a finite temperature and density. These studies are relevant in many hadronic physics problems. The most important result, found in this research, was that in the phase diagram as a function of baryonic number and temperature, the existence of a tricritical point was possible, this being a point where a first order phase transition line ends in a second one.

Casalbuoni remembers this result: “What we had found was completely unexpected, no one in literature had mentioned such a possibility. At first we thought it was an effect due to the approximations used. We then decided to calculate the phase diagram of the Gross and Neveu model, a two-dimensional model which has many of the characteristics of QCD. We tested the existence of a tricritical point in this model too. The Aachen Conference was held in September 1989, with a session dedicated to these issues. I remember that my presentation



era equivalente ad imporre un vincolo sul campo dell'Higgs. Nel 1988 Gatto aveva proposto di studiare un fenomeno analogo in supergravità immaginando la possibilità di un gravitino pesante. Questo studio permise la formulazione di un teorema di equivalenza, analogo a quello valido per le teorie di gauge ordinarie. Nel 1989 queste idee vennero applicate dal gruppo ad una teoria supersimmetrica in cui lo scalare fosse pesante trovando che in questa situazione il supercampo soddisfa al vincolo che il suo quadrato deve essere nullo. Recentemente questi studi sono stati applicati alle realizzazioni non-lineari della supergravità.

Più o meno nello stesso periodo la collaborazione di Gatto con Barducci, Casalbuoni, De Curtis e Giulio Pettini, altro studente di Casalbuoni, affrontò lo studio di QCD a temperatura e densità finite. Questi studi sono rilevanti in molti problemi di fisica adronica. Il risultato più importante, trovato in questa ricerca, fu che nel diagramma di fase in funzione del numero barionico e della temperatura, era possibile l'esistenza di un punto tricritico, un punto dove una linea di transizione di fase di primo ordine termina in una di secondo.

Casalbuoni ricorda così questo risultato: "Quello che avevamo trovato era del tutto inaspettato, nessuno nella letteratura aveva accennato ad una simile possibilità. All'inizio pensammo che fosse un effetto dovuto alle approssimazioni usate. Decidemmo allora di calcolare il diagramma di fase del modello di Gross e Neveu, un modello bidimensionale che però presenta molte delle caratteristiche di QCD. Anche in questo modello provammo l'esistenza di un punto tricritico. Nel settembre del 1989 si tenne la Conferenza di Aachen con una sessione dedicata a questi problemi. Mi ricordo che la mia presentazione incontrò uno scetticismo

was met by palpable scepticism. Karsch, an expert on lattice calculations, found it particularly hard to believe. It must be said, to his credit, that the calculations on the grid were made at zero density, due to technical problems, while the tricritical point is an effect of finite density. We later discovered that two Japanese, Asakawa and Yazaki, had achieved the same result using a different approximation of QCD. Now, despite the lack of experimental data, the widespread opinion is that the tricritical point in QCD really exists, even for partial results obtained on the lattice".

But at that time, between the end of 1989 and the beginning of 1990, the LEP at CERN and its competitor, SLC at SLAC, came into operation. The group immersed themselves in much more phenomenological work. Peskin and Takeushi before, Altarelli, Barbieri and Caravaglios after, had shown that the characteristics of the vector boson Z, which was to be studied with great precision at the two machines, could be summarised in three parameters, whose deviations from the zero value represented a measure of the effects of a possible new physics beyond the Standard Model. The group focused on the deviations of these parameters due to the effective model for a heavy Higgs, which had been introduced earlier, called BESS (Breaking Electro-weak Symmetry Strongly) by Feruglio. Part of these works and also the study of heavy vector bosons were carried out not only by the group made up of Gatto, Casalbuoni, De Curtis, Dominici and Feruglio, but also by Guido Altarelli and Pierre Chiappetta.

In 1992, two of Gatto's PhD students, Aldo Deandrea and Nicola di Bartolomeo arrived in Geneva, and began studying the problems related to the BESS model, before becoming

palpabile. In particolare, Karsch, un esperto di calcoli sul reticolo, si dimostrò alquanto incredulo. Occorre dire a suo credito che i calcoli sul reticolo venivano fatti a densità zero, per problemi tecnici, mentre il punto tricritico è un effetto della densità finita. Scoprimmo successivamente che due giapponesi, Asakawa e Yazaki avevano ottenuto lo stesso risultato usando una diversa approssimazione di QCD. Adesso, nonostante la mancanza di dati sperimentali, l'opinione diffusa è che il punto tricritico in QCD esista realmente, anche per risultati parziali ottenuti sul reticolo.”

Ma in quegli anni, tra la fine 1989 e l'inizio del 1990 entrarono in funzione il LEP al CERN e il suo concorrente SLC a SLAC. Il gruppo si immerse in lavori molto più fenomenologici. Peskin e Takeuchi prima, Altarelli, Barbieri e Caravaglios dopo, avevano mostrato che le caratteristiche del bosone vettoriale Z, che sarebbero state studiate con grande precisione alle due macchine, potevano essere sintetizzate in tre parametri, le cui deviazioni dal valore nullo rappresentavano una misura di effetti di una possibile nuova fisica al di là del Modello Standard. Il gruppo si concentrò sulle deviazioni di questi parametri dovute al modello effettivo per uno Higgs pesante, che era stato introdotto in precedenza, denominato da Feruglio BESS (Breaking Electro-weak Symmetry Strongly). Parte di questi lavori ed anche lo studio di bosoni vettoriali pesanti fu portato avanti oltre che dal gruppo di Gatto, Casalbuoni, De Curtis, Dominici e Feruglio, anche da Guido Altarelli e Pierre Chiappetta.

Nel 1992 arrivarono a Ginevra due nuovi studenti di PhD di Gatto, Aldo Deandrea e Nicola Di Bartolomeo che iniziarono con lo studio dei problemi connessi

involved, thanks to a collaboration begun the year before with Giuseppe Nardulli from Bari (deceased in 2008), in a line of research on effective models for heavy mesons. This line of research ended with a review, published in Physics Report in 1997, which has been quoted numerous times since.

In the late 90s, when the LEP was close to closure and about to be replaced by LHC, Gatto and collaborators resumed working on the heavy Higgs issue. Given the strict limits which LEP had set on possible deviations from the Standard Model, they developed a model (degenerate BESS) which would work both in linear and non-linear formulations.

At that time, two other Florentines, Michele Modugno, one of Casalbuoni's students, and Lapo Casetti, who had been a student of Marco Pettini, collaborated in research on finite temperature QCD and on statistical systems.

In 1975, it was shown that at high densities and zero temperature, colour symmetry could be broken with a mechanism similar to that of superconductivity, with the formation of a diquark condensate. The calculations of the time, however, resulted in a gap of a few MeV, and, therefore, of little phenomenological interest. In 1998, these calculations were called into question and it was shown that, contrary to what had previously been found, the gap could go up to hundreds of MeV. Since the group had worked a lot on QCD at finite temperature and density, Gatto immediately showed interest in these researches and when Casalbuoni visited CERN in July 1999, they began studying this issue. The first and immediate outcome was the formulation of an effective model, based on a scheme similar to that describing the breaking

al modello BESS e poi, grazie anche ad una collaborazione iniziata l'anno prima con Giuseppe Nardulli di Bari (deceduto nel 2008), furono coinvolti in una linea di ricerca su modelli effettivi per mesoni pesanti. Questa linea di ricerca terminò con un lavoro di rassegna pubblicato nel 1997 su *Physics Report* che ad oggi conta numerose citazioni.

Verso la fine degli anni 90, quando LEP era vicino alla chiusura per essere sostituito da LHC, Gatto e collaboratori ripresero l'attività sulla problematica dell'Higgs pesante. Dati i limiti stringenti che LEP aveva posto sulle possibili deviazioni dal Modello Standard, svilupparono un modello (BESS degenere) che evitava questo problema, sia nella formulazione lineare che non lineare.

In quel periodo collaborarono alle ricerche su QCD a temperatura finita e su sistemi statistici altri due fiorentini Michele Modugno, studente di Casalbuoni, e Lapo Casetti, che era stato studente di Marco Pettini.

Nel 1975 era stato mostrato che ad alte densità e zero temperatura, la simmetria di colore poteva essere rotta con un meccanismo analogo a quello della superconduttività, tramite la formazione di un condensato di diquark. I calcoli dell'epoca davano però un gap di pochi MeV, e quindi di scarso interesse fenomenologico. Nel 1998 questi calcoli furono rimessi in discussione e fu mostrato che, contrariamente a quanto era stato trovato in precedenza, il gap poteva arrivare fino ad ordini del centinaio di MeV. Gatto fu subito interessato a queste ricerche, dato che il gruppo aveva lavorato molto su QCD a temperatura e densità finite, e in occasione di una visita di Casalbuoni al CERN nel luglio del 1999, iniziò lo studio di questo problema. Il primo e immediato risultato fu la formulazione di un

of chiral symmetry in QCD, which defined the Goldstone bosons associated with the breaking of colour symmetry. This model has become a classic for this kind of physics. In the summer of 2000, Casalbuoni and Nardulli were both at DESY, and so yet another collaboration was born with Gatto, Nardulli and his students from Bari. Many aspects of high density QCD, with various possible phases, were studied in this project. The most interesting result was the discovery of an instability in the phase which was deemed the most energetically favourable. In a subsequent work, it was shown that such instability would not occur in a non-homogeneous phase: the so-called LOFF (Larkin-Ovchinnikov-Fulde-Ferrel) phase, extensively studied by physicists of the structure of matter.

The almost thirty-year collaboration with Casalbuoni ended in 2006 due to the latter's involvement in the activities of the Galileo Galilei Institute (GGI) in Florence, which became operational that same year. The only exception was a review on non-homogeneous phases of QCD, which ended in 2014. Nardulli died prematurely in 2008 but Gatto continued collaborating with his former-students until 2014, when his conditions deteriorated no longer allowing him to work.

It became increasingly difficult to communicate with Gatto after 2014. The fact that he could no longer continue his activity as researcher had a profound effect on him, considering how much of his time he had dedicated to it. Gatto tried every day to read the most interesting articles that would come out, in order to find new topics to suggest to his collaborators, choosing the most interesting and those that could be dealt with most easily by the group,

modello effettivo, basato su uno schema analogo a quello che descrive la rottura della simmetria chirale in QCD, che descriveva i bosoni di Goldstone associati alla rottura della simmetria di colore. Questo modello è diventato un classico per questo tipo di fisica. Nell'estate del 2000, Casalbuoni e Nardulli erano entrambi a DESY, e nacque così una ulteriore collaborazione con Gatto, Nardulli e i suoi studenti di Bari. In questo progetto furono studiati vari aspetti di QCD ad alta densità, che presenta diverse possibili fasi. Il risultato più interessante fu che la fase che era ritenuta la più favorita energeticamente, presentava una instabilità. In un lavoro successivo fu invece mostrato che tale instabilità non si presenta in una fase non omogenea, la fase così detta LOFF (Larkin-Ovchinnikov-Fulde-Ferrel), una fase molto studiata dai fisici di struttura della materia.

La collaborazione quasi trentennale con Casalbuoni terminò nel 2006 a causa del coinvolgimento di quest'ultimo nelle attività dell'Istituto Galileo Galilei (GGI), a Firenze, che iniziò ad essere operativo proprio in quell'anno. Fece eccezione una rassegna sulle fasi inhomogenee di QCD che si concluse solo nel 2014. Nel 2008, Nardulli morì prematuramente, ma Gatto continuò a collaborare con i suoi ex-studenti sino al 2014, quando le sue condizioni di salute si stavano via via aggravando e non gli permettevano più di lavorare.

Dopo il 2014 fu sempre più difficile comunicare con Gatto. Il fatto di non poter continuare ad essere attivo nella ricerca lo abbatteva profondamente, considerando quanto del suo tempo vi aveva dedicato. Gatto cercava di leggere tutti i giorni gli articoli più interessanti che uscivano per poter trovare sempre nuovi argomenti da proporre ai suoi collaboratori, scegliendo i più interessanti e quelli

keeping in mind the professional experiences of the various people. His interest in research was his whole life, and he carried it on until the end. Stefania De Curtis tells us: "The last time I met Raoul was at Cern in 2009 during the workshop "From the LHC to a Future Collider". It had been several years since I had last seen him, and I was truly surprised to see him arrive, quietly, with his well-known "catlike footstep", at the beginning of my seminar. He sat in one of the side seats and remained so quiet and attentive. At the end of the meeting I approached him to say hello and he did not fail to compliment me and show his usual curiosity and interest in what I was working on. I realised how, although we were no longer collaborating, he had monitored the evolution of our line of research in every detail. His comments were as detailed and enlightening as ever. I can't deny that I was amazed, despite having known Gatto for a long time. I remember that, when he said goodbye, he added "Blimey! How much progress you've made!" with a note of regret."

We would also like to point out that in 1975 Gatto gained an important acknowledgement for his activity as researcher and "maestro", receiving the Award of the President of the Italian Republic (see Fig. 2). In 2003, he also received the Enrico Fermi Prize, awarded by the Italian Physics Society for the following reason: "...for his pioneering work in the field of weak decays of strange particles and for his role as leader in a fundamental field of subnuclear physics.

Gatto's lessons were always extremely clear, but his teaching was particularly effective when he oriented younger collaborators towards a particular research job, which he almost

che potevano essere affrontati più facilmente dal gruppo, tenendo ben presenti quelle che erano le esperienze professionali delle varie persone. L'interesse per la ricerca era la sua vita e lo ha portato avanti sino alla fine. A questo proposito, Stefania De Curtis racconta: "L'ultima volta che ho incontrato Raoul è stato al Cern nel 2009 durante il workshop "From the LHC to a Future Collider". Erano ormai diversi anni che non avevo avuto contatti e fui veramente sorpresa di vederlo arrivare, silenziosamente, con il suo noto "passo felpato", all'inizio del mio seminario. Si sedette in uno dei posti laterali e rimase così silenzioso e attento. Alla fine della sessione mi avvicinai per salutarlo e lui non mancò di farmi i complimenti e di mostrare la sua solita curiosità e interesse per quello che stavo facendo. Mi resi conto di come, nonostante non stessimo più collaborando, avesse seguito nei minimi dettagli l'evoluzione della nostra linea di ricerca. I suoi commenti furono puntuali e illuminanti come sempre. Non nego che rimasi stupita, nonostante conoscessi Gatto da tanto tempo. Ricordo che quando mi salutò aggiunse "Accidenti quanti progressi avete fatto!" con una nota di rimpianto.

Vorremmo anche ricordare che nel 1975 Gatto ottenne un importante riconoscimento per la sua attività di ricerca e di "maestro", con il conferimento del Premio del Presidente della Repubblica (vedi Fig. 2). Inoltre ha ricevuto, nel 2003, il Premio Enrico Fermi, conferitogli dalla Società italiana di fisica con la seguente motivazione: «... per i suoi lavori pionieristici nel campo dei decadimenti deboli delle particelle strane e per il suo ruolo di caposcuola in un settore fondamentale della fisica subnucleare.

La lezioni di Gatto erano estremamente chiare e lucide, ma il suo insegnamento era particolarmente efficace quando indirizzava un giovane verso un partico-

always managed to choose in such a way that it could be completed. He was very capable of estimating both the difficulty of the job and the ability of his collaborators to carry out research.

In 1990, the Department of Theoretical Physics of the University of Geneva organised a conference to celebrate the 60th birthday of Gatto and Henri Ruegg. On the 17th of January 1997, again the Department of Theoretical Physics at the University of Geneva, celebrated Gatto's retirement with the "Theoretical Physics Conference in Honour of Raoul Gatto", in the presence of many of his former students and with speeches by Altarelli, Cabibbo, Ferrara, Gallavotti and Maiani. On this occasion, we also had the pleasure of meeting his wife "Reginetta", whom Gatto was often forced to phone during our meetings, which would last longer than expected, to tell her he'd be late.

Finally, here are some portraits of Gatto by his colleagues: Carlo Bernardini [Bernardini, 2006] saw Gatto as "A strange loner, admired by his pupils". Without a doubt, Gatto had a very shy character. At social events at the Department of Theoretical Physics in Geneva for example, he always arrived one minute before the beginning and left as soon as the social event was over. But we spent entire afternoons, evenings and late nights together, having pleasant discussions and thinking about how to solve the problems raised by our scientific work." Here's the description presented by Preparata [Preparata, 2002] when, in 1963, he went to Frascati to meet Gatto. "Although he was quite young – he must have been just over thirty- Gatto was considered one of the world's top physicists. Gatto was a big, slightly overweight boy, with an open and friendly face, maybe a bit shy; I liked him immediately."

lare lavoro di ricerca, che riusciva quasi sempre a scegliere in modo tale da poter essere portato a termine. Era grandissima la sua abilità nello stimare a priori sia la difficoltà della ricerca che le capacità di ricerca dei suoi collaboratori.

Nel 1990 il Dipartimento di Fisica Teorica dell'Università di Ginevra indisse una conferenza per celebrare i 60 anni di Gatto e Henri Ruegg. Il 17 gennaio 1997 al Dipartimento di Fisica Teorica dell'Università di Ginevra fu invece festeggiato il pensionamento di Gatto con la conferenza Theoretical Physics Conference in Honor of Raoul Gatto, alla presenza di molti suoi ex studenti e con interventi di Altarelli, Cabibbo, Ferrara, Gallavotti e Maiani. In questa occasione abbiamo avuto anche il piacere di conoscere di persona la moglie "Reginetta" alla quale spesso durante i nostri incontri che si protraevano più del dovuto era costretto a telefonare per segnalare il ritardo.

Per concludere riportiamo anche alcuni ritratti di Gatto dei colleghi: per Carlo Bernardini [Bernardini, 2006] Gatto era "Uno strano solitario ammirato però dagli allievi". Senza dubbio Gatto aveva un carattere molto schivo, in occasioni degli eventi sociali, per esempio al Dipartimento di Fisica Teorica di Ginevra, lui arrivava sempre un minuto prima dell'inizio e se ne andava appena l'evento sociale era concluso. Ma abbiamo passato insieme interi pomeriggi, serate fino a tarda notte, molto piacevoli a discutere e pensare come risolvere i problemi posti dal nostro lavoro scientifico. Ecco la descrizione di Preparata [Preparata 2002] quando nel 1963 si recò a Frascati per incontrare Gatto. "Anche se piuttosto giovane – doveva avere poco più di trenta anni – Gatto era considerato uno dei fisici teorici di punta nel mondo. Gatto era un ragazzone un po' sovrappeso, con un viso



Figura 2. Raoul Gatto riceve il Premio Nazionale del Presidente della Repubblica.

Figure 2. Raoul Gatto receives the Award of the President of the Italian Republic.

aperto e cordiale, forse un poco timido; mi fu immediatamente molto simpatico.”

Con la scomparsa di Gatto la fisica teorica italiana ha perso un grandissimo maestro e un grande scienziato di fama internazionale.

## Bibliografia

C. Bernardini, *Fisica vissuta*, Hoepli, 2006

G. Preparata, *Dai quark ai cristalli. Breve storia di un lungo viaggio dentro la materia*. Bollati Boringhieri, 2002.

Le pubblicazioni di Gatto sono reperibili sul sito: [http://inspirehep.net/search?ln=it&ln=it&p=a+gatto%2C+r&of=hb&action\\_search=Cerca&sf=earliestdate&so=d&rm=&rg=25&sc=0](http://inspirehep.net/search?ln=it&ln=it&p=a+gatto%2C+r&of=hb&action_search=Cerca&sf=earliestdate&so=d&rm=&rg=25&sc=0)

*Roberto Casalbuoni* è Professore di Fisica Teorica presso l'Università di Firenze. Ha svolto numerosi incarichi di direzione nell'INFN e nella Università di Firenze. La sua attività di ricerca è nel campo della Fisica Teorica delle Particelle Elementari. Ha collaborato con Raoul Gatto per quasi trenta anni.

*Daniele Dominici* è Professore di Fisica Teorica presso l'Università di Firenze, Direttore del Centro Nazionale di Studi Avanzati Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics. Svolge attività di ricerca nel campo della Fisica Teorica delle Particelle Elementari. Ha collaborato con Raoul Gatto per molti anni, in particolare trascorrendo un sabbatico all'Università di Ginevra negli anni 1984-1986.

With Gatto's death, Italian theoretical physics lost a great teacher and a world-renown great scientist.

## References

M. Greco, G. Pancheri, *Analysis*, 2008, p. 21

C. Bernardini, *Fisica vissuta*, Hoepli, 2006

G. Preparata, *Dai quark ai cristalli. Breve storia di un lungo viaggio dentro la materia*. Bollati Boringhieri, 2002

Gatto's publications are available on the website: [http://inspirehep.net/search?ln=it&ln=it&p=a+gatto%2C+r&of=hb&action\\_search=Cerca&sf=earliestdate&so=d&rm=&rg=25&sc=0](http://inspirehep.net/search?ln=it&ln=it&p=a+gatto%2C+r&of=hb&action_search=Cerca&sf=earliestdate&so=d&rm=&rg=25&sc=0)

*Roberto Casalbuoni* is Professor of Theoretical Physics at University of Florence. He has held numerous management positions at INFN and University of Florence. His research activity is in the field of Theoretical Physics of Elementary Particles. He worked with Raoul Gatto for almost thirty years.

*Daniele Dominici* is Professor of Theoretical Physics at University of Florence, and Director of the National Centre for Advanced Studies Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics. He carries out research activities in the field of Theoretical Physics of Elementary Particles. He worked with Raoul Gatto for many years, most notably a sabbatical at the University of Geneva in 1984-1986.