GEANT4

Stato e piani futuri

Maria Grazia Pia

INFN Genova e CERN/IT

Genova, 21 giugno 1999

Profilo del seminario

- Introduzione: ruolo di Geant e stato di Geant3
- Motivazioni del redesign di Geant
- Lo sviluppo di Geant4 in RD44
- Strategie di Software Engineering
- Il toolkit Geant4
- Performance
- La Collaborazione Geant4
- La partecipazione italiana
- Il contributo di Genova
- Conclusioni

Il ruolo di Geant

- *Geant è uno strumento di simulazione, che fornisce un'infrastruttura generale per*
  - geometria
  - tracking di particelle
  - interazioni di particelle con la materia
  - visualizzazione di rivelatori e relativa risposta, tracce
  - etc.

- *L'esperimento sviluppa il codice specifico per*
  - generatore primario di eventi
  - descrizione geometrica del rivelatore
  - descrizione della risposta del rivelatore (digitizzazione)

- Ruolo fondamentale in varie fasi dell'esperimento
  - progettazione del rivelatore
  - studio dei canali di fisica
  - sviluppo e test del software di ricostruzione e fisica
  - calcolo di risultati fisici per pubblicazioni

Che cosa era Geant3?

- **Geant 3**
  - è usato in tutti i principali esperimenti di fisica delle alte energie per la simulazione di rivelatori
  - ultima versione: Geant3.21, del marzo 1994
  - contiene ~200K linee di codice
  - è l'equivalente di 50 anni-uomo di lavoro, lungo un arco di >15 anni
  - è usato non solo in fisica delle alte energie, ma anche in fisica nucleare, in area medica, nell'ambito della radioprotezione e dell'astronautica
- Il risultato è un sistema di software complesso
  - ha un problem domain complesso
  - richiede flessibilità per applicazioni molto diverse
  - management e manutenzione sono complicati
- **Non è autosufficiente**
  - la fisica adronica è gestita mediante l'interfaccia a packages

Nuove esigenze di simulazione

- Robustezza e affidabilità di produzione su grande scala
- **Scambio con CAD** di descrizione di rivelatori
- Fisica trasparente e validabile
- Estensioni di **fisica ad alte energie**
  - *LHC*
  - *esperimenti con cosmici, neutrini*
- Estensioni di **fisica a basse energie**
  - *applicazioni spaziali*
  - *applicazioni di fisica medica*
  - *esperimenti con neutrini*
- **Fisica adronica** affidabile
  - non solo per calorimetria, ma anche per identificazione di particella (esperimenti di violazione di CP)
- Raccolta di **User Requirements** dagli esperimenti
  - periodicamente rivisti e aggiornati
- Esigenze di software: era diventato molto complicato
  - mantenere il programma
  - estenderne la funzionalità
  - migliorare la trasparenza e il contenuto di fisica

Che cosa è Geant4?

- **OO toolkit per la simulazione di rivelatori in fisica delle alte energie della prossima generazione**
  - *...e della generazione attuale*
  - *...e non solo di alte energie*
  - fisica nucleare, ioni pesanti, acceleratori, scienze spaziali, fisica medica etc.
- Esperienza di **produzione e gestione di software distribuito** in una collaborazione internazionale, con partecipazione da vari esperimenti, laboratori e istituti
- Esperienza di applicazione di metodi di **software engineering e di tecnologie Object Oriented** all'ambiente HEP

Profilo temporale

- **Approvato come R&D a fine '94**
- **Obiettivi a fine '95**
  - metodologia OO, problem domain, OOA&D completo
  - prototipo di tracking, performance
- **Obiettivi a primavera '97**
  - α-release con la stessa funzionalità di Geant 3.21
  - persistenza (hits), ODBMS
  - trasparenza di modelli fisici per gli utenti
- **Obiettivo a luglio '98**
  - primo β-release pubblico
- **Obiettivo a fine '98** (termine della fase R&D)
  - production release: **Geant4.0**
- **Tutti gli obiettivi temporali e i requirements sono stati rigorosamente rispettati da RD44**
- **Composizione di RD44**
  - >100 fisici (sperimentali e teorici) e informatici
  - >10 esperimenti rappresentati
  - Partecipazione italiana: A. Feliciello, E. Lamanna, S. Magni, M.G. Pia, F. Safai Tehrani
- Riconfigurazione come **Collaborazione internazionale Geant4** dal 1/1/1999, basata su MoU

Strategie di Software Engineering

Il Software Engineering ha un ruolo fondamentale in Geant4

- **User Requirements**
  - Raccolti inizialmente e sistematicamente rivisti
  - Secondo lo standard ESA PSS-05
- **OOA&D**
  - Metodologie **Object Oriented** per analisi e design
    - Booch/UML, CASE Tool: Rational Rose
  - **Software process**
    - approccio a spirale iterativo di cicli di design e di implementazione
- Esteso uso di sistemi di **Quality Assurance**
  - **Tools commerciali:** Insure++, Logiscope etc.
  - Linee guida di C++ coding
  - **Ispezioni di codice**
  - **Tests:** unit, integration, system tests + fisica
  - **Benchmarks** di performance
- Uso di **standards,** ISO e de facto
  - **STEP**: ingegneria e sistemi CAD
  - **ODMG:** à la RD45
  - **OpenGL e VRML** per la grafica
  - **CVS** per code management
  - **C++** come linguaggio di programmazione

Hardware e software accessorio

- ***Piattaforme***
  - AIX, HP, DEC, Sun, SGI: *compilatori nativi, g++*
  - Linux: *g++*
  - Windows-NT: *Visual C++*
- ***Software commerciale***
  - Rogue Wave Tools.h++ *(opzionale)*
  - STL di Objectspace *(opzionale)*
- **Free software**
  - CVS
  - gmake
  - CLHEP
  - STL di compilatori nativi
- ***Grafica***
  - OpenGL, X11, OpenInventor, DAWN, VRML...
  - OPACS, GAG, MOMO...
- ***Persistenza***
  - possibile run in versione transiente
  - in versione persistente usare una interfaccia HepDB su standard ODMG

Documentazione

- **Geant4 web homepage**
  - *http://wwwinfo.cern.ch/asd/geant4/geant4.html*
- **RD44 web homepage**
  - *http://wwwinfo.cern.ch/asd/geant/4geant4.html*
- **Geant4-Italy web page**
  - *http://www.ge.infn.it/geant4*
- **Manuali e documenti**
  - User Requirements Document
  - Introduction to Geant4
  - Installation Guide
  - Geant4 User's Guide - For Application Developers
    - *per chi vuole usare Geant4*
  - Geant4 User's Guide - For Toolkit Developers
    - *per chi vuole estendere la funzionalità di Geant4*
  - Software Reference Manual
    - *documentazione delle classi di Geant4*
  - Physics Reference Manual
    - *ampia documentazione della fisica di Geant4*
- **Geant4 Web Gallery** (in costruzione)
  - risultati e performance
  - confronto con dati sperimentali

Geometria

- Descrizione dettagliata di rivelatore ed efficiente tracking di particelle nel modello di rivelatore
  - *scambio con CAD*
    - interfaccia mediante lo **standard ISO STEP** (Standard for the Exchange of Product Model Data)
  - *ottima performance di navigazione*
- ***Conversione di geometrie da Geant3 a Geant4***
- ***Rappresentazioni multiple di solidi***
  - **CGS** (**C**onstructed **S**olid **G**eometries)
    - forme semplici disponibili direttamente
  - **Estensioni in STEP**
    - esaedri, sfere, cilindri, coni, toroidi etc.
  - **BREPS** (**B**oundary **REP**resentated **S**olids)
    - volumi definiti dalle superfici di limitazione
    - comprendono solidi son superfici di secondo ordine e costruite da NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)
  - possibilità per gli utenti di implementare nuove forme
- ***Trattazione di vari tipi di campo***
  - di disuniformità e differenziabilità variabile
  - uso di vari integratori, oltre il classico Runge-Kutta
  - correzione del tempo di volo durante il trasporto
  - sostanziale progresso rispetto a Geant3

Fisica

- **LCB**: *"It was noted that experiments have requirements for independent, alternative physics models. In Geant4 these models, differently from the concept of packages, allow the user to understand how the results are produced, and hence improve the physics validation. Geant4 is developed with a modular architecture and is the ideal framework where existing components are integrated and new models continue to be developed."*
- **Interfaccia astratta a processi fisici**
  - Tracking completamente disaccoppiato dai processi
  - Distinzione fra ***processi fisici*** e ***modelli***
    - implementazioni multiple di modelli per uno stesso processo fisico
- **Data encapsulation e polimorfismo**
  - Accesso trasparente a sezioni d'urto, indipendentemente da lettura da file, interpolazione da tavole, calcolo da forme analitiche etc.
  - Distinzione fra il calcolo delle sezioni d'urto e il loro uso
  - Calcolo dello stato finale disaccoppiato dal tracking
- **Trattamento uniforme di fisica e.m. e adronica**
- **Fisica aperta agli utenti**
  - facile inserimento di nuova fisica da parte degli utenti

Dati sperimentali

- Sistematica indagine e raccolta di dati sperimentali per sviluppo e test dei modelli
- ***Librerie di dati e valutazioni***
  - ENDF/B, JENDL, FENDL, CENDL, ENSDF,JEF, BROND, EFF, MENDL, IRDF, SAID, EPDL, EEDL, EADL, SANDIA etc.
- ***Centri di distribuzione***
  - NEA, LLNL, BNL, KEK, IAEA, IHEP, Helsinki, TRIUMF, FNAL, Durham etc.
- contributo alla trasparenza e validazione dei risultati fisici

Fisica elettromagnetica

- Comparabile con Geant3 and EGS già in α-release
- Notevoli estensioni successive
  - modelli teorici per μ **fino a PeV**
  - **estensione a 250 eV per e, γ**
  - estensione per **e,γ, adroni, ioni fino a 1 eV** in corso (progetto congiunto con l'ESA)
- **Alternative multiple di modelli** per vari processi
- Tratta γ, raggiX, fotoni ottici, e, μ, adroni carichi e ioni

- scattering multiplo
- perdita di energia
- Bremsstrahlung
- ionizzazione
- annichilazione
- effetto fotoelettrico
- Compton scattering
- conversione
- radiazione di sincrotrone
- radiazione di transizione
- Cerenkov
- effetto Rayleigh
- rifrazione
- riflessione
- assorbimento
- scintillazione
- fluorescenza

Fisica adronica

- **Approccio completamente diverso dal passato**
  - trasparenza
  - nativa, non piú interfaccia a packages esterni
  - chiara separazione fra i dati e il loro uso in algoritmi
  - modelli alternativi e complementari
  - il piú completo kit di simulazione adronica sul mercato
- ***Modelli parametrizzati e data-driven***
  - basati su dati sperimentali
  - in buona parte ripresi da Gheisha
  - **novità**
    - **stopping particles** (π^- , K^-)
    - **neutroni**
    - nuove parametrizzazioni
      - pp, sezione d'urto elastica differenziale
      - nN, sezione d'urto totale
      - pN, sezione d'urto totale
      - np, sezione d'urto elastica differenziale
      - πN, sezione d'urto totale
      - πN, scattering elastico coerente
- ***Modelli teorici***
  - *2* ***Modelli a stringhe*** (Diffrattivi, Dual-Parton)
    - *possibilità di interfaccia a Pythia7 per hard scattering*
  - ***Hadron Kinetic Model + Precompound model***
  - ***Deeccitazione***
    - evaporazione, fissione, Fermi break-up, multi-frammentazione, evaporazione di fotoni
  - ***Interazioni leptone-adrone***
    - interazioni μ–nucleo, foto-fissione, conversione γ-mesoni

Componenti per applicazioni spaziali

- **L'ESA è membro della Collaborazione Geant4**
  - Geant3, EGS, ITS, MORSE, HETC in uso all'ESA
  - Valutazioni comparate dei principali packages di simulazione esistenti: Geant3, ESABASE, Shieldose, HETC, LHI, MORSE, MCNP, ITS, MICAP, CEPX-ONELD, EGS
  - decisione di aderire alla Collaborazione Geant4
- **Esigenze specifiche per applicazioni spaziali**
  - cosmici
  - fasce di Van Allen
  - flussi di particelle energetiche (solar flares)
  - degradazione dei componenti elettronici
  - single event logic-flips nell'elettronica
  - background in rivelatori
  - rischi per astronauti
- **Progetti ESA in Geant4**
  - *Estensione della fisica elettromagnetica: 250 eV, 1 eV*
  - *Source Particle Module*
  - *Delayed Radioactivity Module*
  - *Sector Shielding Analysis Tool*
  - *CAD Tool Front-End*

Altre componenti

- ***Run*** e ***Evento***
  - è possibile gestire piú eventi contemporaneamente (pile up)
  - runs multipli nello stesso job (geometrie, materiali diversi)
  - interfaccia ad Event Generators via ASCII file per generatori che supportano /HEPEVT/
  - interfaccia a Lund++ in corso
- ***Tracking***
  - indipendente dal tipo di particella e dai processi fisici
  - Geant4 ha solo soglie di produzione, **non tagli in tracking**
    - tutte le particelle sono tracciate fino a range zero
    - tagli in energia, tempo di volo etc. definibili dall'utente
- ***Materiali***
  - elementi, isotopi, materiali composti
- ***Particelle***
  - proprietà dal PDG
  - altri tipi di particelle specifici per uso in Geant4 (es.: ioni)
- ***Hits e Digis***
  - definiti dall'utente
- ***Persistenza***
  - interfacce a ODBMS tutte astratte in Geant4
  - possibilità di esecuzione in modo transiente o persistente
- ***Grafica***
  - Vari drivers di visualizzazione: OpenGL, OpenInventor, X11, Postscript, DAWN, OPACS, VRML
- ***User Interfaces***
  - Command-line, Tcl/Tk, Tcl/Java, batch+macros, OPACS, GAG, MOMO
  - generazione automatica di codice per geometria e materiali

Fast simulation

- Geant4 consente di effettuare **full simulation** e **fast simulation** **nello stesso ambiente**
- La **'parameterisation'** permette di produrre direttamente una risposta di rivelatore, a partire dalla conoscenza delle proprietà di una particella e dei volumi da essa attraversati
  - *hits, digis, oggetti finali di ricostruzione (tracce, clusters etc.)*
- Offre una grande **flessibilità di opzioni**
  - *fast e full simulation* ***selettivamente per rivelatore***
    - esempio: full simulation per rivelatori interni, fast simulation per calorimetria
  - fast simulation ***selettivamente per regione geometrica***
    - esempio: fast simulation nella regione centrale e full simulation in regioni critiche vicino a cracks
  - fast simulation ***selettivamente per tipo di particella***
    - esempio: in un calorimetro elettromagnetico parametrizzazione per e/γ e full simulation per adroni
  - ***geometrie parallele*** ('ghost world') per accorpare piú rivelatori in fast simulation, distinti in full simulation
    - esempio: rivelatori di tracking interno ed esterno distinti in full simulation e accorpati in fast simulation

Performance

- **Confronto Geant4 - Geant3.21**
  - configurazioni realistiche di rivelatori
  - risultati completi e plots in
    http://wwwinfo.cern.ch/asd/geant/geant4_public/gallery/EMbenchmarks

- ***Benchmark in calorimetro Argon liquido + Pb***
  - a parità di performance fisica **Geant4 è piú veloce di Geant3.21** di
    - **un fattore >3** usando esattamente gli stessi cuts
    - **un fattore >10** ottimizzando i cuts di Geant4, pur mantenendo la stessa performance fisica
  - a parità di velocità la performance fisica di Geant4 è nettamente migliore di quella di Geant3.21

- ***Benchmark in strato sottile di silicio***
  - a parità di performance fisica **Geant4** è **25% piú veloce** di **Geant3.21** (singolo volume, singolo materiale)

La Collaborazione Geant4

- Dal 1/1/1999 Geant4 è gestito da una Collaborazione internazionale di **basata su MoU**
  - Gestisce **sviluppo, distribuzione e servizio utenti**
- Partecipano **esperimenti, laboratori, istituti** che procurano almeno 2 Contribution Units
  - Atlas, BaBar, CMS, LHCB, **IGD**
  - CERN, KEK, SLAC, TRIUMF
  - ESA, Lebedev, IN2P3
  - Common (membri sotto soglia)
  - altre partecipazioni in corso di definizione
- **Collaboration Board**
  - gestisce le risorse e le responsabilità
  - Chairman Y. Watase (KEK Computing Director)
- **Technical Steering Board**
  - è il forum dove le questioni tecniche e scientifiche sono discusse, decise e ordinate in priorità
  - gestisce il Production Service e lo User Support
  - Chairman J. Allison (Univ. of Manchester & CERN, BaBar)
- **Working Groups**
  - eseguono sviluppo, supporto, manutenzione, QA, test
  - ogni collaboratore è affiliato ad un Working Group

La partecipazione italiana

- **Rappresentante CB:** Mirco Mazzucato
- **Rappresentante TSB:** Maria Grazia Pia
- ***Geometria*** (S. Magni)
  - Sviluppo, test e manutenzione di **PGONS** (CGS e BREPS), **superfici coniche e cilindriche**, **voxelisation**, **ray tracing**
- ***Fisica elettromagnetica*** (E. Lamanna, S. Magni)
  - μ **di alta energia**, E>300 GeV: confronto con dati sperimentali e validazione dei modelli fisici (E. Lamanna)
  - **Fotoni ottici**: sviluppo, test e manutenzione (S. Magni)
- ***Fisica adronica*** (L.Bellagamba, A. Brunengo, E. DiSalvo, M.G. Pia)
  - **Hadron Kinetic Model**: OOAD, sviluppo, test e manutenzione (A. Brunengo, E. Di Salvo, M.G. Pia)
    totale responsabilità italiana
  - **Photon Evaporation**: OOAD, sviluppo, test e manutenzione (A. Brunengo, M.G. Pia)
    totale responsabilità italiana
  - **Stopping particles**: OOAD, sviluppo, test e manutenzione (M.G. Pia)
    totale responsabilità italiana
- ***Documentazione*** (S. Magni)
  - **Software Reference Manual**, totale responsabilità italiana
- ***Software management*** (M.L. Luvisetto, E. Ugolini)
- ***System Testing*** (S. Magni)
- **Production Service e User Support + Training**

Il contributo di Genova

- Gruppo di Fisica adronica
  - A. Brunengo, E. Di Salvo, M.G. Pia
- *Assorbimento di π^- e K^- a stop*
  - M.G. Pia
- *Evaporazione di fotoni*
  - A. Brunengo e M.G. Pia
- *Hadron Kinetic model*
  - A. Brunengo, E. Di Salvo, M.G. Pia

- Rappresentante italiano nel Technical Steering Board
  - M.G. Pia

- Responsabile nazionale INFN del progetto Geant4
  - M.G. Pia

- *Liaison ESA per il Low Energy Joint Project (in corso di definizione)*

Assorbimento di particelle a stop

- Modelli per π^- e K^-
- Nuovo approccio introdotto in Geant4: ***modello misto sperimentale + teorico***
  - modello parametrizzato per l'interazione primaria del mesone
    - distribuzioni in energia e angolari
    - dipendenza dal tipo di materiale
  - deeccitazione del nucleo rimanente mediante modelli teorici
- Fondamentale per identificazione di μ/π nell'IFR di BaBar
- ***Programmi per il futuro***
  - estensione del modello a interazioni con clusters di nucleoni (attualmente solo coppie di nucleoni)
  - design iteration

Evaporazione di fotoni

- Modello per la deeccitazione nucleare mediante emissione di fotoni
  - fa parte della serie dei modelli di deeccitazione
- Modello misto sperimentale + teorico
  - Regime di **transizioni fra livelli nucleari discreti**
    - basato sui dati sperimentali del database ENSDF per **tutti** gli isotopi in natura
    - energie dei livelli nucleari, branching ratios, larghezze dei livelli, energie dei fotoni emessi
  - Regime di **emissioni nel continuo**
    - modello teorico (risonanza gigante di dipolo)
- Design complesso
  - due diversi regimi fisici, trattati con approcci e modelli diversi
  - pu ó funzionare sia come processo a sé stante sia come uno dei possibili canali di evaporazione
- È il piú completo e sofisticato modello di simulazione di evaporazione di fotoni esistente
- ***Piani futuri***
  - distribuzioni angolari
  - conversioni (elettroni)

Hadron Kinetic Model

- Modello per **cascata intranucleare**
- Costituisce la componente fondamentale della fisica adronica di Geant4 basata su modelli teorici
- Complesso problema tecnologico, oltre che fisico
  - rappresenta il primo tentativo di trattazione con tecnologie OO di un modello di cascata intranucleare
- Collaborazione di fisici sperimentali + teorici
- Di totale *(grossa)* responsabilità italiana
- Lavoro in corso
  - prima implementazione nel prossimo release
- ***Piani futuri***
  - consolidamento, mediante confronti con dati sperimentali
  - raffinamento dei modelli di sezioni d'urto, distribuzioni angolari e trasporto
  - estensione in energia (> 5 GeV)

Conclusioni

- Geant4 è il toolkit per la simulazione di rivelatori per la prossima (attuale) generazione di **esperimenti HEP, nucleari, applicazioni spaziali, di fisica medica e di acceleratori**
- Geant4 rappresenta uno **strumento fondamentale** per gli esperimenti
- Geant4 è sviluppato e gestito mediante uno **schema di software distribuito** in una collaborazione internazionale, facendo uso di tecnologie avanzate di software engineering
- Geant4 contiene un'ampia varietá di **modelli fisici**, molti dei quali rappresentano sostanziali miglioramenti rispetto a tutti gli altri pacchetti di simulazione attualmente esistenti
- Una significativa **componente italiana** partecipa alla Collaborazione Geant4
- **Il gruppo di Genova** ricopre responsabilitá fondamentali nella Collaborazione Geant4