

Probability and Uncertainty in Physics Measurements

Programma indicativo 2019 [40 ore circa]

Calendario

<https://calendar.google.com/calendar/embed?src=9ld95ganlp7qe3fml9kki8mrj8%40group.calendar.google.com&ctz=Europe%2FRome>

Andrea Messina

Stanza 252, Ed. Marconi

<https://elearning.uniroma1.it/course/view.php?id=6962>

Introduzione

Lezione 1: Introduzione al corso. Introduzione critica sull'utilizzo della 'statistica' nei risultati sperimentali.

Lezione 2: 'Metodo scientifico', misure, inferenza e probabilità. Gioco delle 6 scatole.

Lezione 3: Discussione critica delle interpretazioni della probabilità: interpretazione classica, frequentista, logica e soggettiva. Probabilità e incertezza, limiti dell'interpretazione frequentista. Discussione dell'interpretazione soggettiva della probabilità. Confronto tra inferenza frequentista ed inferenza bayesiana, esempio di misure gaussiane.

Calcolo delle probabilità, elementi di logica, scommessa coerente, reti bayesiane

Lezione 4: Elementi di logica. Logica dell'inferenza. Scommessa coerente. Probabilità condizionata. Legge probabilità totali e legge delle alternative. Discussione delle regole fondamentali della probabilità. Teorema di Bayes e sue interpretazioni. Verosimiglianza, probabilità a priori e a posteriori. Esempi, applicazione del teorema di Bayes al gioco delle 6 scatole.

Lezione 5: Rappresentazione grafica della probabilità di più variabili come grafi-direzionali-aciclici, probabilità condizionata e variabili indipendenti. Reti Bayesiane Markov blanket. Implementazione di modelli a variabili discrete con semplici reti bayesiane in Hugin.

Variabili casuali e funzioni di probabilità

Lezione 6: Variabili casuali discrete e continue, pdf e funzione cumulativa. Valore atteso e deviazione standard e loro proprietà per trasformazioni lineari. Momenti. Variabili casuali multiple. Proprietà delle distribuzioni di più variabili, distribuzioni marginali e distribuzioni condizionate. Disuguaglianza di Markov e di Chebicev. Funzione di variabile casuale, cambio di variabile.

Inferenza e test di ipotesi (I)

Lezione 7: Test di ipotesi approccio bayesiano. Inferenza sui parametri del modello. Marginalizzazione. Metodo della massima verosimiglianza. Inferenza sul modello, rasoio di Occam. Esempio binomiale, delle 6 scatole, fit polinomiale. Statistica frequentista e bayesiana, likelihood ratio, bayesian factor, rasoio di Occam, esempi.

Assegnazione della Probabilità

Lezione 8: Principio di indifferenza. Invarianza per trasformazioni di simmetria. Entropia, informazione ed informazione di Fisher. Principio della "Maximum Entropy", esempi distribuzione uniforme, esponenziale e gaussiana. Prior di Jeffreys. Prior coniugate, reference Priors.

Distribuzioni discrete

Lezione 9: Distribuzioni di variabile discreta. Processo di Bernoulli. Distribuzione geometrica. Binomiale. distribuzione Poisson. Multinomiale. Assenza di memoria e riproduttività. Erlang.

Lezione 10: Inferenza binomiale, poisson, misure di efficienza, misure di conteggio. Stopping problem. Casi critici di conteggio al limite della sensibilità. Articolo di Giulio D'Agostini [art.4]. Teorema di Bernoulli.

Distribuzioni continue ed incertezze di misura

Lezione 11: Esponenziale e collegamento con i processi di Poisson. Gaussiana sua derivazione originale. Lorentziana, Gamma, Beta. Gaussiana bivariata, articolo di Giulio D'Agostini [art.2]. Convoluzione.

Lezione 12: Inferenza con verosimiglianza Gaussiana. Derivazione distribuzione t-student e χ^2 come inferenza con verosimiglianza gaussiana. Teorema del limite centrale.

Incertezze di misura

Lezione 13: Valutazione delle incertezze di tipo A e di tipo B (GUM). Misura come inferenza dei parametri di interesse. Propagazione delle incertezze in misure dirette ed indirette.

Combinazione lineare variabili casuali. Caso di variabili indipendenti. incertezza della media.

Lezione 14: Linearizzazione. Propagazione delle incertezze. Correlazione e covarianza. Correlazione di combinazioni lineari di variabili casuali. Linearizzazione. Formulazione matriciale. Esempio dell'offset per 2 misure indipendenti e propagazione nella somma, differenza e prodotto. Caso generale propagazione incertezze. Inferenza predittiva. Unfolding [art.3]

Metodi Monte Carlo

Lezione 15: Metodi di Monte Carlo, ed in particolare Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Introduzione a JAGS.

Fit dei minimi quadrati

Lezione 16: Fit dei minimi quadrati, impostazione formale, derivazione dei parametri m , c . derivazione delle incertezze e della correlazione dei parametri. Casi di σ_y diverse tra loro o tutte uguali. Fit non lineari. Tecniche di minimizzazione numerica.

Lezione 17: Articolo di Giulio D'Agostini sui fit esempi in jags [art.1]

Inferenza e test di ipotesi (II)

Lezione 18: Estimatori, test statistic, p-value, test ipotesi frequentista, wilks' theorem, intervalli di confidenza. CLs.

Applicazioni in Misure di Fisica

Lezione 19: Ricerca di Nuova Fisica (e.g. GW, DM)

Lezione 20: Misura di precisione (e.g. mW)

Lezione 21: Fit Modello (e.g. EW, CKM)

BIBLIOGRAFIA

LIBRI

1. G. D'Agostini, "Bayesian reasoning in data analysis - A critical introduction", World Scientific Publishing - 2003
2. **G. D'Agostini, "Bayesian reasoning in High Energy Physics: Principles and Applications", CERN Yellow Reports: Monographs - 1999**
<<https://www.roma1.infn.it/~dagos/YR.html>>
3. D.S. SIVIA, "Data Analysis, a Bayesian Tutorial", Oxford University Press - 2006
4. P. Gregory, "Bayesian Logical Data Analysis for the Physical Sciences", Cambridge University Press - 2012
5. David J.C. MacKay, "Information Theory, Inference, and Learning Algorithms", Cambridge University Press - 2003 <<http://www.inference.org.uk/itprnn/book.pdf>>
6. E.T. Jaynes, "Probability Theory: The Logic of Science", Cambridge University Press - 2003 <<https://bayes.wustl.edu/etj/prob/book.pdf>>
7. Donald Gilles, "Philosophical Theories of Probability", W. H. Newton-Smith Balliol College, Oxford - 2000
8. F. V. Jensen and T. G. Nielsen, "Bayesian Networks and Decision Graph", Editor Springer Verlag - 2009
9. A.N. Kolmogorov, "Foundations of the Theory of Probability", Chelsea Publishing Company New York - 1956
10. Glen Cowan, "Statistical Data Analysis", Oxford University Press - 1998
11. Fredrick James "Statistical Methods in Experimental Physics", World Scientific, 2nd Ed. 2006
12. GUM: Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (Bureau International des Poids et Mesures) <<https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>>
13. William M. Briggs, "Uncertainty", Springer - 2016
14. William M. Briggs, "Breaking the Law of Averages",
<http://wmbriggs.com/public/briggs_breaking_law_averages.pdf>

ARTICOLI

1. Giulio D'Agostini, "fits, and especially linear fits, with errors on both axes, extra variance of the data points and other complications", [arXiv:physics/0511182](https://arxiv.org/abs/physics/0511182)
2. Giulio D'Agostini, "Learning about probabilistic inference and forecasting by playing with multivariate normal distributions", [arXiv:1504.02065](https://arxiv.org/abs/1504.02065)
3. Giulio D'Agostini, "Improved iterative Bayesian unfolding", [arXiv:1504.02065](https://arxiv.org/abs/1504.02065)
4. Giulio D'Agostini, "Inferring the intensity of Poisson processes at the limit of the detector sensitivity", [arXiv:hep-ex/9909047](https://arxiv.org/abs/hep-ex/9909047)

DISPENSE

1. Botje, Nikhef, "Introduction to Bayesian Inference"
<<https://www.nikhef.nl/~h24/bayes/topical2013.pdf>>
2. Dispense Corso di Laboratorio di Meccanica D'Agostini, Bellini, Messina (2018)
<https://drive.google.com/file/d/1dBV6nmzLCRbhn7OnK8w_Wo8lhWRY6/view?usp=sharing>
3. Dispense Giulio D'Agostini, "Probabilità e incertezza di misura"
<<https://www.roma1.infn.it/~dagos/teaching.html>>

PAGINE WEB, CORSI, CONFERENZE e SCUOLE

1. **Pagina web di Giulio D'Agostini su Probability and Statistics**
<<https://www.roma1.infn.it/~dagos/prob+stat.html>>
2. **Pagina web di Giulio D'Agostini corso di dottorato AA 2016 su Probabilità e Incertezza di Misura** <https://www.roma1.infn.it/~dagos/dott-prob_31/index.html>
3. Tom Loredò, Bayesian Inference for Physical Sciences
<https://www.roma1.infn.it/~dagos/dott-prob_31/index.html>
4. Interpretation of Probability, Standard Encyclopedia of Philosophy
<<https://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/probability-interpret/>>
5. XXVI Winter School of Astrophysics
<<http://www.iac.es/winterschool/2014/pages/teaching-material.php>>
6. Proceedings of the PHYSTAT conference
<http://inspirehep.net/search?ln=en&p=find+t+phystat&of=hb&action_search=Search&sf=earliestdate&so=d>
7. Segev BenZvi, Rochester
<https://www.pas.rochester.edu/~sybenzvi/phy403_2016s.html>
8. Particle Data Group: Probability, Statistics, Monte Carlo Techniques
<http://pdg.lbl.gov/2018/reviews/contents_sports.html>
9. Passerini Trento lezioni di Reti Bayesiane e Machine Learning [pagina web](#)
10. INFN School of Statistics, <<https://agenda.infn.it/event/16360/>>

SOFTWARE

1. Repository github <<https://github.com/amessina1/R-macros.git>>
2. R <<https://www.r-project.org>>
 - a. Esempi <<https://www.roma1.infn.it/~dagos/R/index.html>>
 - b. R reference card <<https://cran.r-project.org/doc/contrib/Short-refcard.pdf>>
3. Python <<https://www.python.org/about/>>
4. ROOT <<https://root.cern.ch>>
5. Hugin <<https://www.hugin.com/index.php/hugin-lite/>>
6. Jags <<http://mcmc-jags.sourceforge.net>>
 - a. [Intro a JAGS/RJAGS con esempi](#)