

PS - PROBABILITÀ E STATISTICA 2, 6CFU  
A.A 2012/2013

INFORMAZIONI E PROGRAMMA DEL CORSO  
UNIVERSITÀ TOR VERGATA  
DOCENTE: LUCIA CARAMELLINO<sup>1</sup>

## Informazioni sul corso

### Prerequisiti

Il corso presuppone la conoscenza delle nozioni di analisi matematica e di algebra lineare che sono state svolte nei corsi precedenti del corso di laurea o che vengono introdotte parallelamente negli altri corsi dello stesso semestre.

### Modalità d'esame

L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale. La prova scritta vale solo per la sessione in cui viene superata (ad esempio, lo scritto di giugno e/o luglio è spendibile solo nella I sessione).

Per sostenere l'esame, gli studenti devono obbligatoriamente prenotarsi alla pagina ServiziOnLine di Tor Vergata. Per gli appelli della II e III sessione [settembre 2013 e febbraio 2014] la chiusura delle prenotazioni è anticipata di una settimana rispetto alla data dello scritto.

### Testi consigliati

- P. Baldi: *Calcolo delle Probabilità. Seconda edizione.* McGraw-Hill, 2011.
- Tutorati I-X, scaricabili all'indirizzo  
[www.mat.uniroma2.it/~caramell/did\\_1213/ps.htm](http://www.mat.uniroma2.it/~caramell/did_1213/ps.htm)

## Programma

### Variabili aleatorie assolutamente continue

Richiami su spazi di probabilità e variabili aleatorie (v.a.) discrete.

---

<sup>1</sup>Dipartimento di Matematica, Università di Roma-Tor Vergata.  
Email: [caramell@mat.uniroma2.it](mailto:caramell@mat.uniroma2.it)  
Web: <http://www.mat.uniroma2.it/~caramell>

La funzioni di ripartizione e le sue proprietà. V.a. continue. V.a. assolutamente continue (a.c.): definizione di densità e proprietà; esistenza della densità nota la funzione di ripartizione. La legge uniforme, esponenziale, di Weibull.

I quantili di una legge.

Calcolo di leggi: densità di una v.a. che è funzione di una v.a. assolutamente continua.

V.a. indipendenti. Calcolo della densità del max e del min di due v.a. indipendenti e con densità.

Vettori aleatori a.c. di  $\mathbb{R}^2$ : densità congiunta e proprietà; esistenza delle densità marginali e loro rappresentazione in termini di integrale, quando esiste la densità congiunta; il viceversa nel caso di v.a. indipendenti. La relazione di indipendenza tra due v.a. e la fattorizzazione della densità congiunta.

Vettori aleatori in  $\mathbb{R}^m$ : la densità congiunta; le densità marginali e loro calcolo a partire dalla densità congiunta; indipendenza e proprietà di fattorizzazione della densità congiunta. Indipendenza di v.a. che sono funzioni di vettori aleatori indipendenti.

La densità condizionale di v.a. aventi densità congiunta, ed invarianza della densità condizionale quando le v.a. sono indipendenti. Calcoli con densità congiunte: densità della somma; densità di una funzione “buona” di v.a. tramite il teorema del cambio di variabile. Legge di una trasformazione lineare-affine di un vettore aleatorio con densità. Uso del teorema del cambio di variabile per il calcolo di densità.

Speranza matematica per v.a. con densità continua: definizione e proprietà. Momenti. Varianza e covarianza. Leggi normali, gamma, beta: proprietà, calcolo della media e della varianza.

[cfr. Baldi, Cap3, da par. 3.1 a par. 3.9; Tutorati V, VI, VII]

## La funzione caratteristica

Variabili aleatorie complesse. La funzione caratteristica (f.c.). Calcolo esplicito per la legge binomiale, geometrica, di Poisson, esponenziale, uniforme. Le proprietà: la f.c. della somma di v.a. indipendenti; la f.c. di una trasformazione lineare-affine; il legame con i momenti (s.d.), con applicazione al calcolo della f.c. della legge gaussiana; se due v.a. hanno la stessa f.c. allora hanno la stessa legge (s.d.); la f.c. delle v.a. che sono coordinate del vettore aleatorio; caratterizzazione della f.c. di v.a. indipendenti.

La legge normale multivariata: definizione in termini della funzione caratteristica; interpretazione dei parametri (vettore delle medie e matrice di covarianza); scrittura esplicita della densità di probabilità quando la matrice di covarianza è non degenere e cenni sul fatto che la densità esiste se e solo se la matrice di covarianza è non degenere. Proprietà delle normali multivariate: legge gaussiana delle componenti; equivalenza tra componenti indipendenti e covarianza nulla; legge normale di una

trasformazione lineare affine. La disuguaglianza di Chebycev e la legge dei grandi numeri per v.a. a.c.

[cfr. Baldi, Cap. 3, par. 3.13 e par. 3.13; Tutorato VII]

## Convergenza ed approssimazione

La convergenza in legge. Il teorema di convergenza di Lévy (senza dimostrazione). Il teorema limite centrale e l'approssimazione normale. Approssimazione normale della legge  $\Gamma(n, \lambda)$ . La correzione di continuità nell'approssimazione normale della legge  $\text{Bi}(n, p)$ . Problemi di stima: stima della media teorica tramite la media empirica. Intervalli di fiducia approssimati (con uso dell'approssimazione normale). Lo stimatore classico della varianza. Uso della legge “t di Student” con  $n$  gradi di libertà per costruire intervalli di fiducia approssimati per la media (cenni).

[cfr. Baldi, Cap. 4 (par. 4.1 solo cenni); Tutorati VIII, IX]

## Catene di Markov

Processi aleatori e catene di Markov: definizione. Catene di Markov omogenee. Esempi: il “problema della rovina del giocatore”. Funzione o matrice di transizione: proprietà, esempi. La matrice di transizione in  $m$  passi.

La distribuzione congiunta di una catena di Markov in  $k$  istanti prefissati. La relazione di comunicazione tra stati della catena. Classi chiuse e irriducibili; stati assorbenti. Stati transitori e ricorrenti. Caratterizzazione degli stati transitori (e quindi ricorrenti) per catena di Markov a stati finiti (senza dimostrazione). Decomposizione degli stati in unione disgiunta dell'insieme degli stati transitori e delle classi irriducibili (senza dimostrazione). Esempi, in particolare la catena associata al problema della rovina del giocatore e la catena di nascita e morte. Le distribuzioni invarianti. Il teorema di Markov-Kakutani sull'esistenza di una distribuzione invariante per catene a stati finiti.

Catene regolari e relazioni con le catene irriducibili. Il teorema di Markov (senza dimostrazione). Distribuzione invariante per matrici di transizione bistocastiche. Stazionarietà di una distribuzione reversibile. Il criterio di regolarità per catene finite, irriducibili e tali che almeno un elemento della diagonale della matrice di transizione sia positivo. Esempi: passeggiate a caso sui grafi. Unicità della distribuzione invariante per catene finite ed irriducibili. Distribuzione invariante per la catena di nascita e morte a stati finiti (nel caso di irriducibilità). Distribuzione invariante per la catena di nascita e morte a stati numerabili. Distribuzione invariante per la catena che descrive il “problema della rovina del giocatore”. Probabilità di passaggio in una classe  $C$ . Il sistema che lega le probabilità di passaggio in  $C$  quando la catena parte da uno stato  $i$  che non è in  $C$  ma che comunica con  $C$ . Calcolo esplicito per la catena di nascita e morte. Esempio: la probabilità di rovina

nel caso di gioco equo ( $p = q$ ) e non ( $p \neq q$ ). Tempi medi di passaggio: il sistema associato. Calcolo esplicito per la rovina del giocatore. Algoritmo di Metropolis: la matrice di transizione, regolarità e reversibilità della distribuzione di partenza. Uso dell'algoritmo di Metropolis per il calcolo dei minimi. Periodo di una catena irriducibile. Aperiodicità ed equivalenza con la regolarità per catene a stati finiti. [cfr. Baldi, Cap 5, da par. 5.1 a par. 5.6 e par. 5.8 solo per quello che riguarda le catene a stati finiti; Tutorati IX, X]