

# Performance Modeling of Computer Systems and Networks

*Prof. Vittoria de Nitto Personè*

Università degli studi di Roma Tor Vergata  
Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering

Copyright © Vittoria de Nitto Personè, 2021  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



1

## Course information

- **Hours**
  - Tuesday 14:00 – 15:45 lecture room B9
  - Thursday 9:30 – 11:15 lecture room B10
  - Friday 9:30 – 11:15 lecture room C10
- **Teacher: Prof. Vittoria de Nitto Personè**
  - Office: building Ingegneria dell' Informazione, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, (D body), room 16 (1rd floor)
  - e-mail: [denitto@ing.uniroma2.it](mailto:denitto@ing.uniroma2.it)
  - Office hours: Wednesday 15:00 – 16:30
- **Assistant teacher: ???**

Prof. Vittoria de Nitto Personè

2

2

### Web site

<http://didattica.uniroma2.it>

### Course registration and exams registration by Delphi:

<https://delphi.uniroma2.it/totem/jsp/index.jsp>

**within 31 Maggio 2023**

Prof. Vittoria de Nitto Personè

3

3

### Introduction and overview

### Terminology

- **System:** a collection of hw and sw resources      risorse hw e sw.
- **Metrics:** "criteria" to compare the system performance  
e.g. *response time* (time to complete a request/job/task)  
*throughput* (system "productivity" per time unit)
- **Workload:** requests submitted by users to the system  
e.g. CPU instructions  
DB queries
- **Techniques:** measurements, simulation and analytical models  
di vario tipo, di solito analitiche, simulative e di misure  
(queste ultime non le vedremo in dettaglio).

Prof. Vittoria de Nitto Personè

4

4

metriche/indici: criteri su cui confronto le prestazioni di un "sistema", come il tempo di risposta (da quando invio una domanda a quando ricevo la risposta), o il throughput (quello che sistema fa nell'unità di tempo, se parlo di operazioni, quante ne fa nell'unità di tempo, cioè la "produttività".) cosa fa nell'unità di tempo, non è detto che soddisfi il carico.

carico: quantità di richieste che il sistema riceve, dipende anche come viene misurato, ma è ciò che gli utenti chiedono nell'unità di tempo.

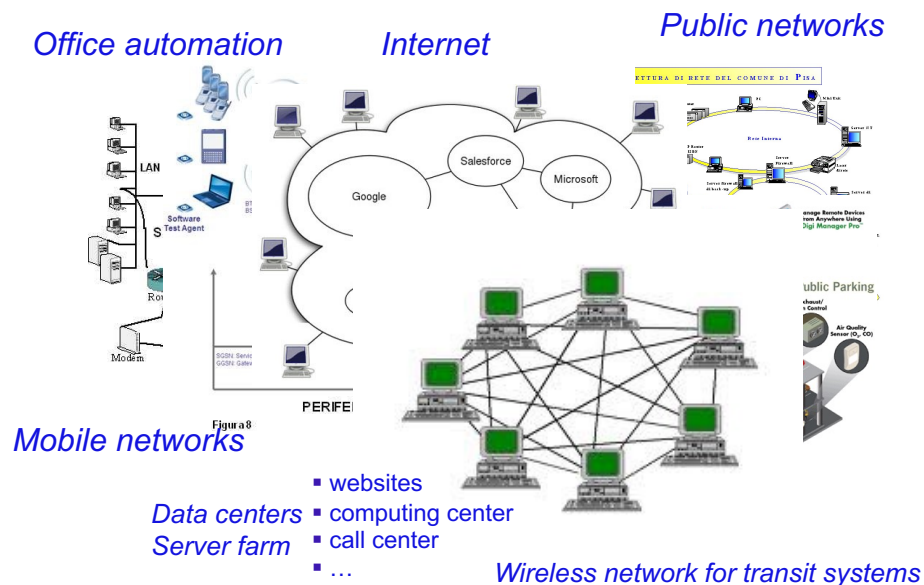
## The importance of Performance Modeling

I sistemi diventano sempre più complessi. normalmente, non dobbiamo vedere un sistema complesso come semplice somma di elementi più semplici (anche se un edificio è fatto da mattoni, non lo vediamo solo come un insieme di cemento e mattoni).

Prof. Vittoria de Nitto Personè

5

5



Prof. Vittoria de Nitto Personè

6

6

## Complex Systems

<https://www.youtube.com/watch?v=gPIbl7mXD9s>

circa 2 minuti

Prof. Vittoria de Nitto Personè

7

7

Introduction and overview

## Performance evaluation

Today's computer systems are more complex  
more rapidly evolving  
of even a few years ago. more essential for business and social life

Increasing need for tools and techniques that assist in understanding the behavior of these systems

- during design and implementation
- during sizing and acquisition
- during evolution of the configuration and workload (upgrade)

administrators, designers, ...

*Background and skills on  
performance evaluation  
techniques*

Prof. Vittoria de Nitto Personè

8

8

gli strumenti di valutazione permettono di capire o meno se una nuova tecnologia è più o meno efficace, o se vengono mantenute ad un certo livello.

Un buono studio non si limita a metriche ed indici, ma va oltre:

comprensione del comportamento del sistema (meglio di un indice), quali limiti si ha per quel comportamento, quali problemi dovrebbero essere analizzati per migliorare il sistema.

## Performance evaluation

In academic research → To prove the value of a new idea

In industry, services → To maintain a high level of performance across the lifetime of a product

For example, cloud services promise to maintain particular perf levels; service providers must thus be able to detect when perf drops below acceptable levels and quickly identify and fix the problem

Performance evaluation is rarely taught in computer science classes

As a result, performance measurement is often done poorly, even by experienced developers

Always Measure One Level Deeper  
John Ousterhout  
*Communications of the ACM*, July 2018, vol.61,n.7

Prof. Vittoria de Nitto Personè

9

9

## Performance evaluation

A **good** PE provides a deep understanding of a system's behavior

- why the systems behaves the way it does
- what limits that behavior
- what problems must be addressed in order to improve the system

*Done well, PE exposes interesting system properties that were not obvious previously*

Prof. Vittoria de Nitto Personè

10

10

Fare bene questo ci permette di vedere di più di quello che normalmente il sistema espone.

Approcci poveri e black box ci fanno perdere le nostre analisi e skills future.  
C'è ignoranza da parte di esperti, e carenza matematica.

## Are we losing performance analysis skills?

ignorance of related concepts  
among industry engineers and  
systems researchers

the weakness in the mathematical  
preparation of our students

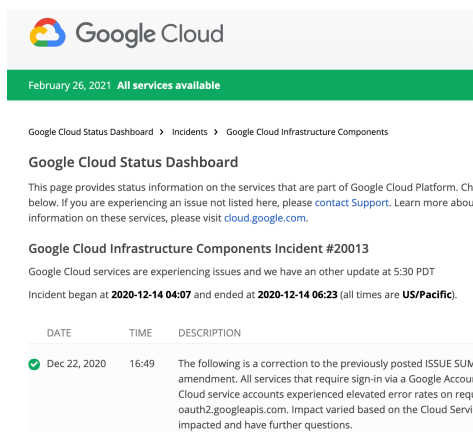
Prof. Vittoria de Nitto Personè

11

11

## Googledown, 14 Dic. 2020

<https://status.cloud.google.com/incident/zall/20013>



Google Cloud

February 26, 2021 All services available

Google Cloud Status Dashboard

This page provides status information on the services that are part of Google Cloud Platform. Check below, if you are experiencing an issue not listed here, please [contact Support](#). Learn more about information on these services, please visit [cloud.google.com](#).

Google Cloud Infrastructure Components Incident #20013

Google Cloud services are experiencing issues and we have an other update at 5:30 PDT  
Incident began at **2020-12-14 04:07** and ended at **2020-12-14 06:23** (all times are **US/Pacific**).

DATE	TIME	DESCRIPTION
Dec 22, 2020	16:49	The following is a correction to the previously posted ISSUE SUMMARY amendment. All services that require sign-in via a Google Account Cloud service accounts experienced elevated error rates on request <code>oauth2.googleapis.com</code> . Impact varied based on the Cloud Service impacted and have further questions.

- h 2:15 down su scala mondiale, didattica a distanza e smart working bloccati
- blocco di qualsiasi servizio per l'accesso tramite autenticazione (Gmail, Drive, Meet, Classroom, ...)
- capacità ridotta del sistema centrale di gestione delle identità e di autenticazione di Google

Prof. Vittoria de Nitto Personè

12

12

### Cashback IO PagoPA, 7-10 Dic. 2020

<https://medium.com/pagopa-spa/cashback-retrospettiva-su-un-avvio-sfidante-con-lo-sguardo-rivolto-al-futuro-206cb609e4bb>



- milioni di download e di accessi, sino a 14000/s
- autenticazione molto lenta, troppe richieste in attesa fino a saturare le porte disponibili
- blocco nell'inserimento dei metodi di pagamento, crollo servizio di push dovuto a lentezza autenticazione
- collo di bottiglia nell'autenticazione, gestione non appropriata delle richieste

Prof. Vittoria de Nitto Personè

13

13

### Signal, 16 Gen. 2021



A two-word app recommendation from **Elon Musk** has turned into a massive rally in the shares of a tiny medical device company in another case of mistaken identity. "Use **Signal**," the Tesla Inc. chief executive officer wrote on **Twitter** on Jan. 7, apparently referring to the encrypted messaging service. 12 gen 2021



- aumento improvviso downloads di Signal di circa 4200% in una settimana
- primo rallentamento del servizio ed una successiva parziale interruzione dello stesso
- replica del back-end di Signal su altri server

Prof. Vittoria de Nitto Personè

14

14

**Dazn**

18 Ago. 2018 - Ott./Nov. 2018

**INPS - Bonus COVID-19**

1 Aprile 2020

**Amazon**

25 Nov. 2020

**Bonus Mobilità**

3-6 Nov. 2020

14-15 Gen. 2021

Prof. Vittoria de Nitto Personè

15

15

## Introduction and overview

Start with a thorough grasp of the system,  
the application and  
the objectives of the study

## several approaches

intuition and  
trend  
extrapolation

very high degree of  
experience and insight to  
yield reliable intuition

experimental  
evaluation of  
alternatives

always valuable, expensive  
not generalization: an experiment yields  
accurate knowledge of syst behavior  
under the used assumptions

Prof. Vittoria de Nitto Personè

16

16

parto da visione completa del sistema, sapendo obiettivi studio, sennò non ha senso.

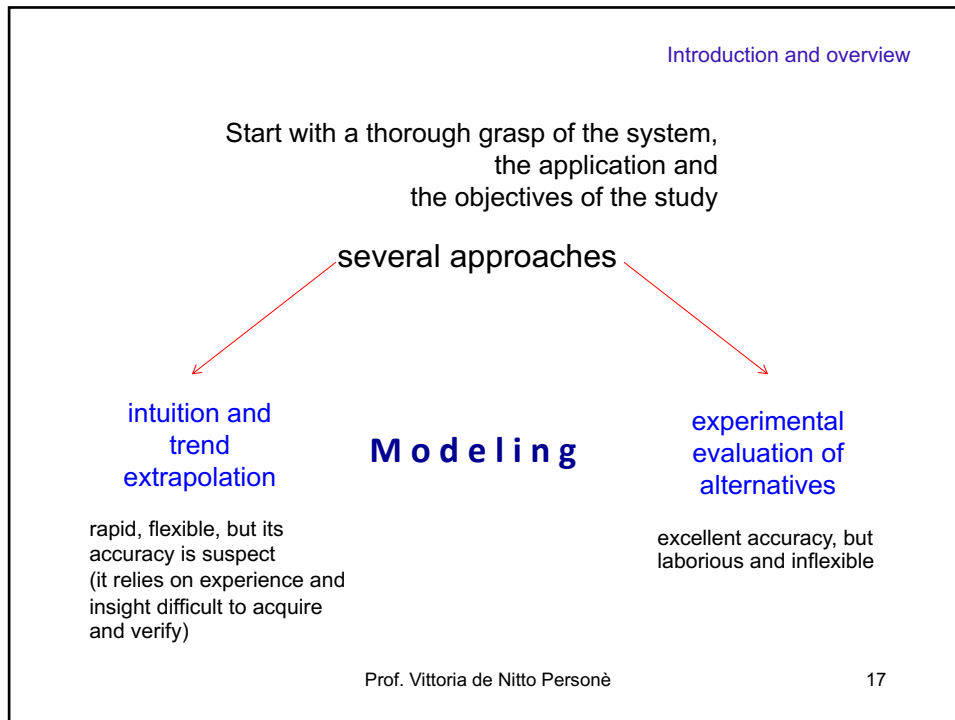
Nel progetto, oltre al caso di studio, devo individuare gli obiettivi dello studio.

Esistono due approcci OPPOSTI:

- usare intuizione ed estrapolazione tendenze: serve grande esperienza però. rapido e flessibile, ma non "verificabile".

- valutazione sperimentale del sistema, devo avere il sistema e usarlo, quindi deve essere un qualcosa che esiste, e non è però generalizzabile, oltre che costoso.



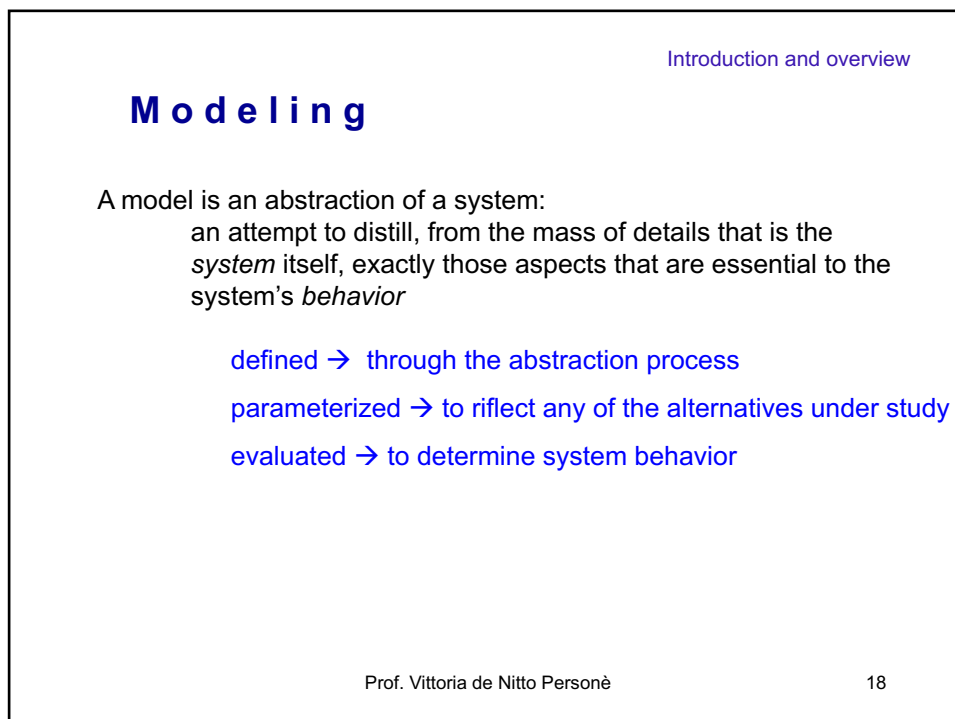


17

In mezzo ho la possibilità di definire un modello, obiettivo del corso.

cosa vuol dire 'definire'?

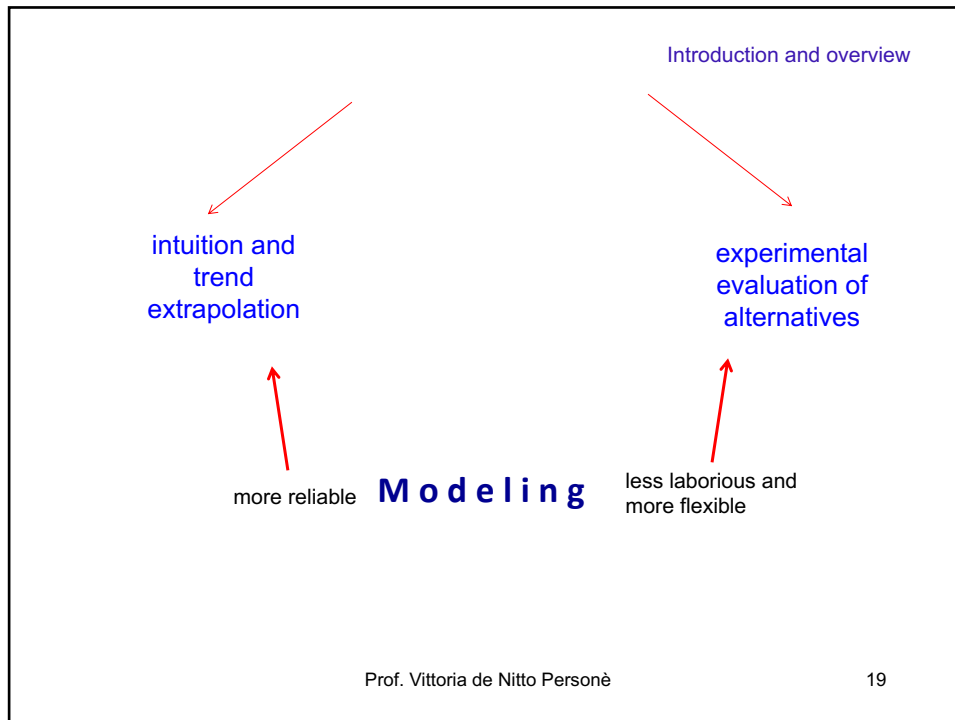
modello = astrazione del sistema, tentativo di 'scegliere' tra la massa dei dettagli che formano il sistema solo gli aspetti essenziali del sistema.



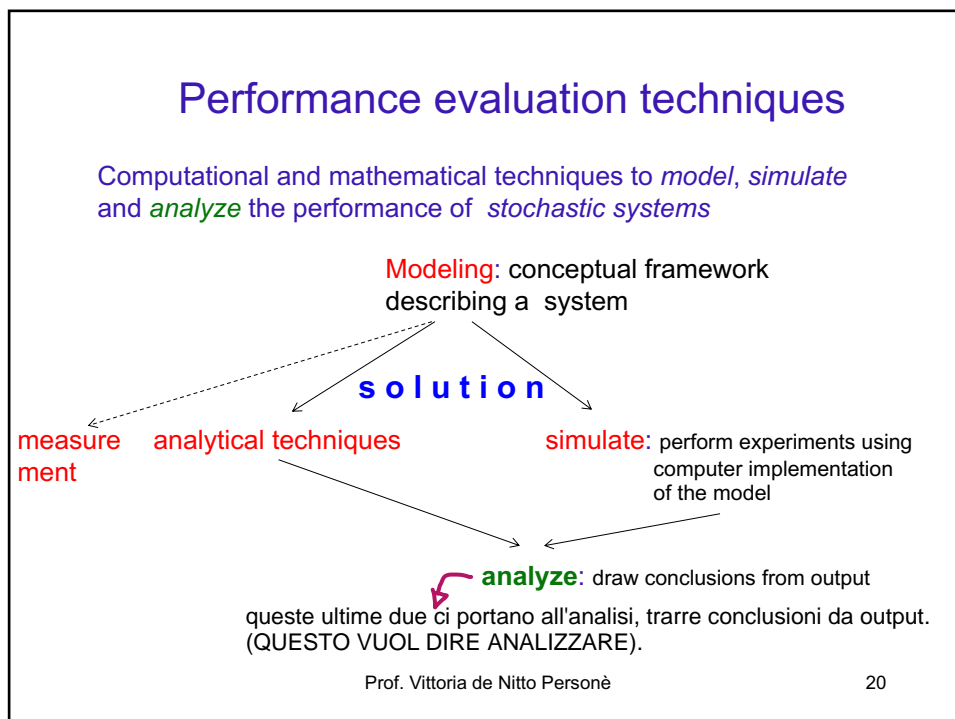
18

Non posso portarmi dietro troppi dettagli.  
Modello definito tramite processo di astrazione,  
dopo lo parametrizzo (per riflettere su varie alternative sotto studio)  
e poi risolto/valutato, per vederne il comportamento.

tale approccio è una via di mezzo tra i primi due.



19



20

le tecniche modellano, simulano, analizzano performance di sistemi stocastici.

Modeling: framework concettuale per descrivere il sistema, tramite:

- misure:(non le vedremo)
- simulare: esperimenti usando implementazioni di un modello.
- tecniche analitiche

capacity planning, fase in cui si dimensiona il sistema, cioè numero, tipo e dimensione dei componenti del sistema.

[illegible]

21

system tuning: determinare valore ottimo rispetto ad un obiettivo, di un qualche parametro del sistema.  
bottleneck identification (se aumento prestazioni di X, ma Y è collo bottiglia, ho solo buttato sbleuri).

## Introduction and overview

# Performance evaluation goals

- Determine the optimal value of a system parameter  
(system tuning)
- Determine the performance “bottleneck”  
(bottleneck identification)

The diagram illustrates a network architecture for SMS services. At the center is the 'SMS Database Service', which is circled in red to indicate it is a potential performance bottleneck. It is connected to several other components: a 'Web Client' (top left), an 'IIS Web Server' (top left, circled in blue), a 'POP3 SMS Gateway' (top right), an 'SMS Client Manager' (middle right), an 'SMS Client' (bottom right), and 'Anagrafiche e rubriche aziendali' (bottom right). The 'IIS Web Server' is also connected to an 'SMTP Server' (middle left) and an 'SMS Service' (middle left). The 'SMS Service' is connected to a 'Modem GSM' (bottom left). The 'SMS Database Service' is also connected to an 'SMS Web Service' (bottom center), which is connected to 'Applicazioni di terze parti' (bottom center). The 'POP3 SMS Gateway' is connected to a 'POP3 Server' (top right).

Prof. Vittoria de Nitto Personè

22

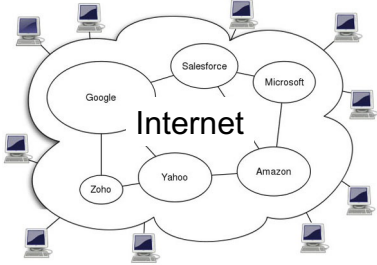
22

caratterizzazione del carico: diventato rilevante con internet, traffico cambiato nel profondo.

Introduction and overview

## Performance evaluation goals

- Characterize the system workload  
(workload characterization)



Prof. Vittoria de Nitto Personè

23

23

Introduction and overview

## Performance evaluation goals

- Characterize the system workload  
(workload characterization)

*Self-Similarity in High-Speed Packet Traffic: Analysis and Modeling of Ethernet Traffic Measurements*  
Walter Willinger, Murad S. Taqqu, Will E. Leland and Daniel V. Wilson  
Statistical Science, Vol. 10, No. 1 (Feb., 1995), pp. 67-85  
<https://www.jstor.org/stable/2246232>

*Self-similarity through high-variability: statistical analysis of ethernet LAN traffic at the source level*  
Walter Willinger (Bellcore), Murad S. Taqqu (Boston University), Robert Sherman (Bellcore)  
and Daniel V. Wilson (Bellcore)  
[SIGCOMM '95: Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication](https://doi.org/10.1145/217382.217418) October 1995 Pages 100–113,  
<https://doi.org/10.1145/217382.217418>

*Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes*  
Mark E. Crovella and Azer Bestavros, Computer Science Department, Boston University  
Methodology and Computing in Applied Probability, Vol 1 No. 1 (1999)

*Self-Similarity in Social Network Dynamics*  
[ACM Transactions on Modeling and Performance Evaluation of Computing Systems](https://doi.org/10.1145/2994142) Volume 2 Issue 1  
March 2017 Article No.: 5pp 1–26 <https://doi.org/10.1145/2994142>

Prof. Vittoria de Nitto Personè

24

24

forecasting: capacità di prevedere aumenti di carico, non basta sovradimensionare (è soluzione rozza e costosa).

Introduction and overview

## Performance evaluation goals

- Performance forecasting as the workload increases  
(forecasting)

Prof. Vittoria de Nitto Personè

25

25

## Course programme

- Introduction to modelling:  
performance evaluation and modelling techniques
- Queueing systems
  - Single and multi resources systems
- Analytical models:
  - Basic results
  - The Operational approach
  - Product Forms, Markov processes
- Simulation models:
  - trace driven, event driven, next event
  - Statistical methods for output analysis
- Applications:
  - Server Farms
  - Wireless Networks and Internet applications
  - Resource allocation
  - QoS management

Prof. Vittoria de Nitto Personè

26

26

## Reference Books

M. Harchol-Balter

Performance Modeling and Design of Computer Systems

Cambridge, University Press, 2013

- Caps. 1, 2, 6, 7, 8, par. 10.1, 10.2, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Lawrence M. Leemis, Sthephen K. Park

Discrete-Event Simulation - A first course,

Pearson Education Prentice Hall, 2006.

- Cap. 1
- Cap. 2: par. 2.1, 2.2
- Cap. 3
- Cap. 4
- Cap. 5: par. 5.1, 5.2
- Cap. 6: par. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4
- Cap. 7: par. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4
- Cap. 8: par. 8.1, 8.3, 8.4
- Cap. 10: par. 10.1

Prof. Vittoria de Nitto Personè

27

27

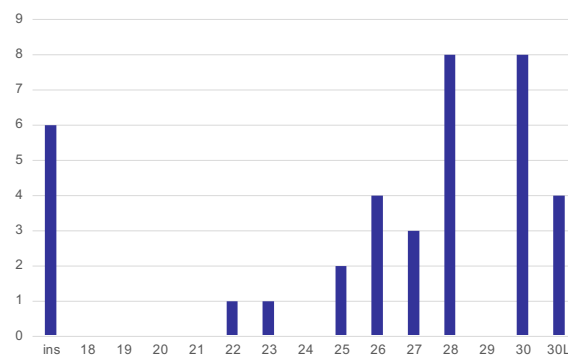
## RISULTATI A.A. 2021/2022

Studenti iscritti **61**

Studenti attivi **37**

31 studenti hanno superato l'esame (**84 %** - **51%**)

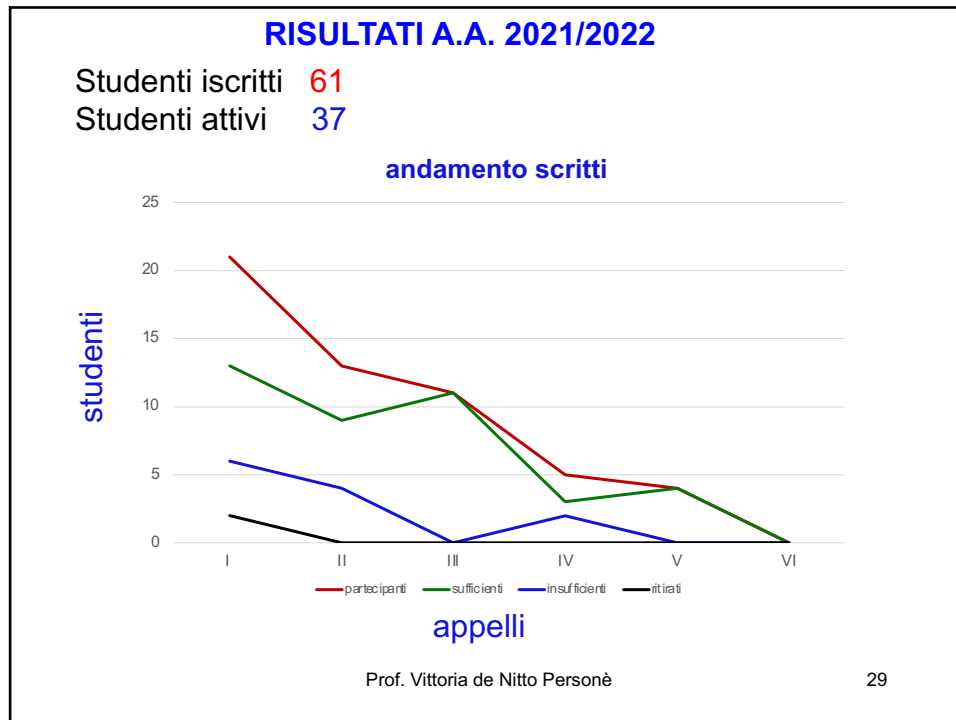
### Voti



Prof. Vittoria de Nitto Personè

28

28



29

**Modalità di esame**  
Performance Modeling of Computer Systems and Networks  
A.A. 2022 / 2023

Per sostenere l'esame occorre essere **iscritti al corso**.

L'esame è composto da una **prova individuale scritta**, una **prova progettuale** preferibilmente di gruppo ed un **esame orale**.

Il gruppo può essere composto da un massimo di tre persone. Gli studenti che intendono **costituire un gruppo** devono darne comunicazione al docente (via **email**).

Prof. Vittoria de Nitto Personè

30

30

**Modalità di esame**  
**Progetto**

Performance Modeling of Computer Systems and Networks  
 A.A. 2022 / 2023

Il docente pubblicherà il testo del progetto sul sito del corso.

Il progetto completato dovrà essere consegnato al docente, per **email**, **entro la data** indicata nella prenotazione **dell'esame orale** a cui si intende partecipare.

Durante il corso, il docente potrebbe indicare una prima parte della prova progettuale che verrà consegnata con il progetto finale.

La prova progettuale ha validità per l'**intero A.A.**.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

31

31

**Modalità di esame**  
**Scritto**

Performance Modeling of Computer Systems and Networks  
 A.A. 2022 / 2023

**E' a discrezione del docente concedere la possibilità di ripetere la prova al II appello di una sessione, nel caso in cui lo studente abbia ottenuto un risultato insufficiente al I appello della stessa.**

La **prova scritta** ha validità per due sessioni consecutive.

Lo studente che desideri migliorare il risultato della prova scritta, può ripetere la prova ad un appello successivo rinunciando al risultato già conseguito.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

32

32



**Modalità di esame  
Orale**

Performance Modeling of Computer Systems and Networks  
A.A. 2022 / 2023

Per sostenere la prova orale, occorre aver superato la prova scritta.

Gli studenti appartenenti ad uno stesso gruppo, sosterranno l'orale nella stessa data.

Il voto conseguito con la **prova scritta** contribuisce per 1/2 al voto finale. Il voto conseguito con la **prova orale** contribuisce per 1/2 al voto finale.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

33

33

**Per superare l'esame**

Performance Modeling of Computer Systems and Networks

1. Seguire il corso con impegno
2. Studiare sui libri/articoli
3. Non affrontare il progetto prima di aver assimilato la materia
4. Leggere con attenzione
5. Riflettere prima di risolvere
6. Rispettare le regole
  - Iscrizione al corso e all'esame entro i termini
  - Consegna progetto entro i termini

Prof. Vittoria de Nitto Personè

34

34