UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

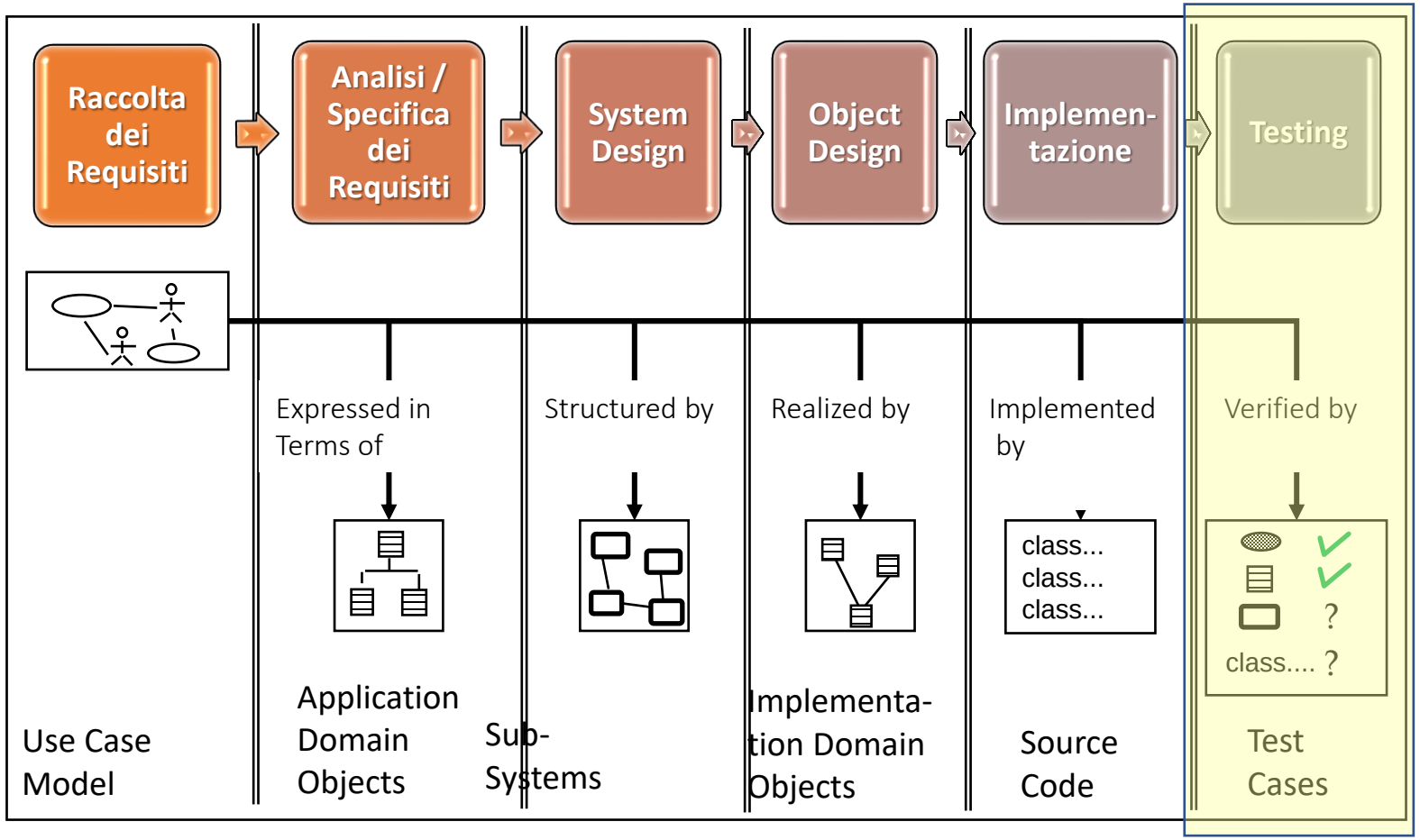
Ingegneria del Software – Verification and Validation

Prof. Sergio Di Martino

Obiettivi della lezione

- Comprendere i concetti di Verification & Validation
  - Terminologia
- Tecniche per aumentare l’affidabilità del codice
  - Inspection
  - Testing
    - I livelli di testing
    - Le strategie di testing

Ciclo di Vita del Software



Verification & Validation

- “The software is done. We are just trying to get it to work…”
- Finito di scrivere il codice, possiamo dire di aver finito lo sviluppo del software?
- Guardando il passato, qualche esempio ci dice che le cose non stanno proprio così…
  - Gli errori possono succedere in ogni fase del ciclo di vita!

I bugs…

- Nella storia dell'informatica ci sono innumerevoli casi di sistemi con comportamenti che deviano dalle specifiche
- Primo caso di bug (e debug) della storia:
  - Una falena (bug) entrò nel Pannello F, Relay #70 del computer Harvard Mark II, nel 1945, creando un cortocircuito. Il computer iniziò a sbagliare addizioni e moltiplicazioni.
  - La falena (ben cotta?) fu presa (de-bug), ed attaccata sul logbook del computer con dello scotch, con la scritta "primo caso di bug trovato" ("first actual case of bug being found")

92

9/9

0800 Arctan started { 1.2700 9.037 847 025
1000 " stopped - arctan ✓ 9.037 846 795 correct
13 sec (032) MP - MC ~~2.130476415 (-3)~~ 4.615925059(-2)
(033) PRO 2 2.130476415
correct 2.130676415

Relays 6-2 in 033 failed special speed test
In Relay " 11.00 test.
Relays changed

Relay 2145
Relay 3370

1100 Started Cosine Tape (Sine check)
1525 Started Mult + Adder Test.

1545 

Relay #70 Panel F
(moth) in relay.

First actual case of bug being found.

~~1445~~ 1630 Arctangent started.
1700 closed down.

Qualche “errore” del passato

- Errori di progettazione
- NASA Mars Climate Orbiter
  - La sonda spaziale Mars Climate Orbiter, costata 125 milioni di dollari, fu persa il 23 settembre 1999, mentre entrava nell’orbita di Marte.
  - ftp://ftp.hq.nasa.gov/pub/pao/reports/1999/MCO_report.pdf
  - Si scoprì successivamente che la causa era in un errore insito nelle specifiche del software adottate dalla NASA.
  - Durante il processo di sviluppo, incredibilmente, gli analisti non avevano specificato il sistema di riferimento da usare per la gestione dei motori usati nell’atterraggio
  - Come risultato, il team di sviluppo del sistema di controllo di volo utilizzò il sistema Metrico (Kg), mentre il fornitore dei motori il sistema Imperiale (pounds)
  - Quando furono passati i parametri da un modulo sw all’altro, non fu operata conversione dei dati, con il risultato di dare direzioni di volo completamente errate, che portarono allo schianto della sonda.

Qualche “errore” del passato

- Errori di coding
- ESA Ariane 5
  - Il vettore spaziale Ariane 5 esplose durante il suo volo inaugurale, il 4 Giugno 1996.
  - http://esamultimedia.esa.int/docs/esa-x-1819eng.pdf
  - Per la gestione dei motori, l’Ariane 5 utilizzava il codice funzionante correttamente sul suo predecessore Ariane 4.
  - Tra questi, utilizzava una routine aritmetica di conversione da un floating point a 64bit ad un intero a 16 bit.
  - I valori generati dai motori dell’Ariane 4 erano gestibili da interi a 16bit.
  - I motori dell’Ariane 5, più potenti, generavano valori più grandi.
  - Il conseguente overflow durante la conversione portò al crash sia del sistema primario che secondario di navigazione, con la conseguente esplosione del razzo.

Qualche “errore” del passato

- Errori di valutazione sull’utilizzo del sistema
- NASA Spirit Rover
  - Il robottino per l’esplorazione di Marte “Spirit” improvvisamente cessò di comunicare con la Terra il 21 Gennaio 2004, qualche giorno dopo l’atterraggio.
  - Nei giorni successivi, i tecnici della NASA riuscirono a scoprire che il robot era in Fault mode, e si riavviava in continuazione.
  - Poiché l’errore si ripresentava ad ogni reboot, i tecnici capirono che era un problema della Flash Memory, o una rottura hardware.
  - Isolando la Flash attraverso un comando speciale, il robot si riavviò senza problemi.
  - Dopo 3 giorni, il team capì l’errore: il robot aveva loggato i principali parametri sia durante il volo fino a Marte, che durante i test al suolo. Come risultato, aveva creato un enorme numero di files, che portava al crash del modulo che si occupava di gestire il File System.
  - Dopo aver riformattato la Flash Memory, il robottino ha funzionato correttamente per altri 6 anni.

Verification & Validation

Verification and Validation (V&V)

- [Sommerville] Verification and Validation (V&V)
  - ‘checking processes which ensure that software conforms to its specification (at each phase in the development) and meets the needs of the software customer’.

- [Boehm’79]
  - Verification: “Have we built the product right”?
  - Validation: " Have we built the right product”

Verification and Validation (V&V)

- La fase di verifica & validazione (o convalida) serve ad accertare che il software rispetti i requisiti e che li rispetti nella maniera dovuta.
- Verifica: il software rispetta le specifiche?
  - E’ stato implementato tutto quello descritto nel documento dei requisiti?
  - Ho implementato correttamente tutte le funzionalità?
  - Da sola non basta.

- Validazione: il software rispetta ciò che voleva il cliente?
  - In altri termini: i requisiti modellano ciò che il cliente realmente voleva?
  - Questa fase è molto delicata in quanto, dopo tutto il processo si può ottenere un software perfettamente funzionante, senza errori, ma del tutto inutile in quanto non rispecchia quanto era stato chiesto all'inizio.

- La verifica può essere **statica**, se effettuata senza eseguire il codice, o **dinamica**, se effettuata attraverso l’esecuzione del software.

Software Reliability

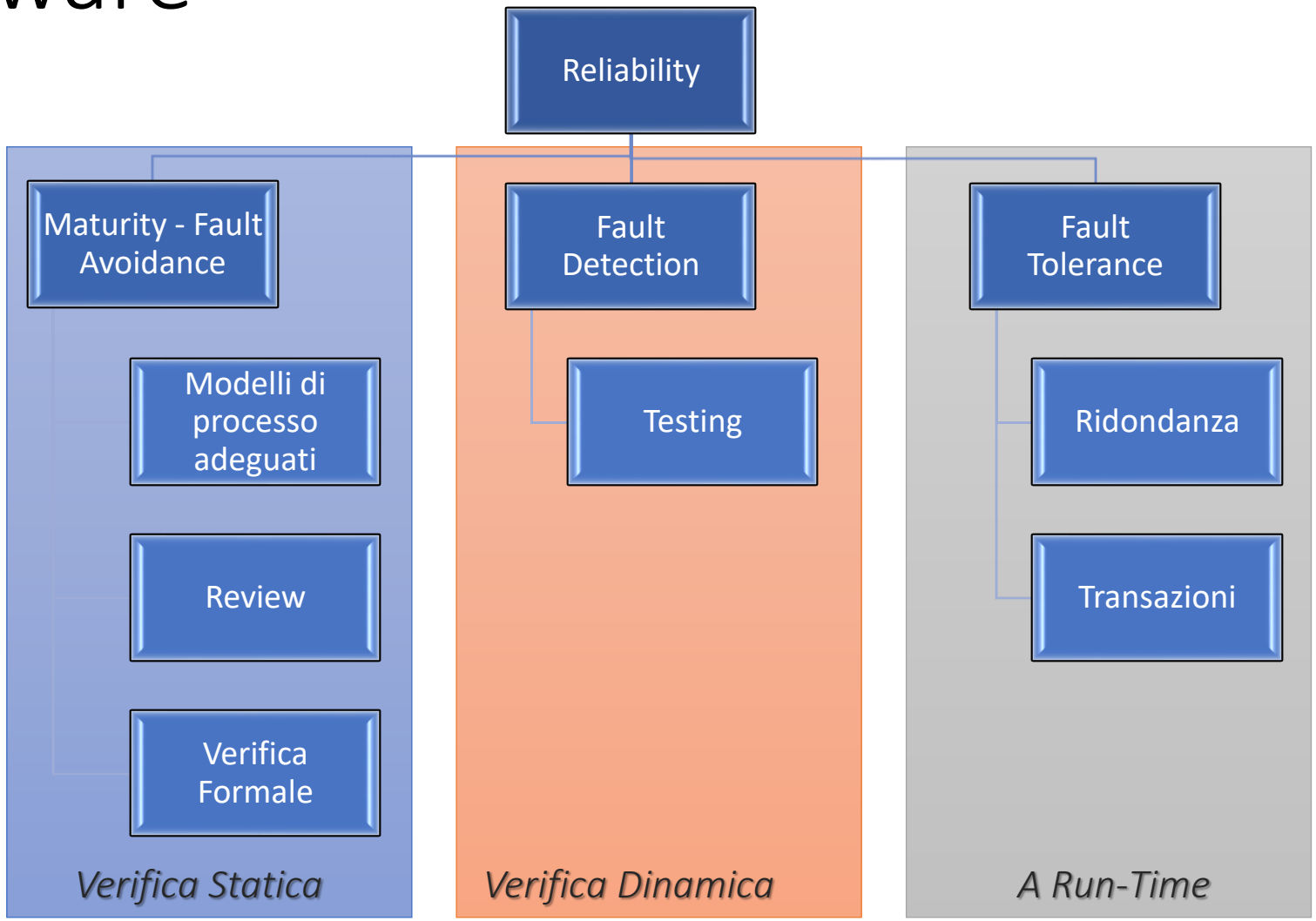
Software Qualities and Process

- Qualities cannot be added after development
  - Quality results from a set of inter-dependent activities
  - Analysis and testing are crucial but far from sufficient.
- V&V is not a phase, but a lifestyle
  - Testing and analysis activities occur from early in requirements engineering through delivery and subsequent evolution.
  - Quality depends on every part of the software process
- An essential feature of software processes is that software test and analysis is thoroughly integrated and not an afterthought

ISO 9126

- Six characteristics, completely hierarchical
- Quality characteristics are divided into sub-characteristics which can be **measured** using metrics

Strategie per migliorare l'affidabilità del software



Tecniche per aumentare l'Affidabilità di un sistema software

- Le tecniche per migliorare l'affidabilità del sistema si dividono in 3 macro categorie:
  - Maturity - Fault Avoidance. Processo di sviluppo che mira a evitare di introdurre difetti.
    - Tentano di prevenire l'inserimento di difetti nel sistema prima che sia realizzato
    - Includono metodologie di sviluppo, gestione delle configurazioni, e verifica
  - Fault Detection. Tecniche per identificare stati di errore e trovare il difetto prima di rilasciare il sistema. In molti casi sono usati anche dopo che il sistema è stato rilasciato
    - Testing: esperimenti controllati
    - Debugging: esperimenti non controllati
  - Fault Tolerance. Tecniche che assumono che un sistema possa contenere bug e che i fallimenti del sistema possano essere gestiti effettuando il recovery al run-time
    - Transazioni atomiche
    - Modular redundancy

Terminologia

- **Affidabilità**: La misura di successo con cui il comportamento osservato di un sistema è conforme ad una certa specifica del relativo comportamento.
- **Fallimento** (Failure): Qualsiasi deviazione del comportamento osservato dal comportamento specificato.
- **Stato di Errore** (Errore): Il sistema è in uno stato tale che ogni ulteriore elaborazione da parte del sistema porta ad un fallimento.
- **Difetto** (Bug/fault): La causa di un errore.

- Ci sono molti tipi differenti di errori e molti modi per far fronte ad un errore.

Fault e Failure

- Per il valore di ingresso x = 3 si ha il valore di uscita y = 9. La causa di questa **failure** è il **fault** di linea 2, in cui anziché l'operatore + è usato l'operatore *

```
1 int raddoppia(int x)
2 {
3     int y;
4     y = x*x;
5     return (y);
6 }
```

- NB: Se il valore di ingresso è x = 2, il valore di uscita è y = 4 (nessuna **failure**)

Definizioni

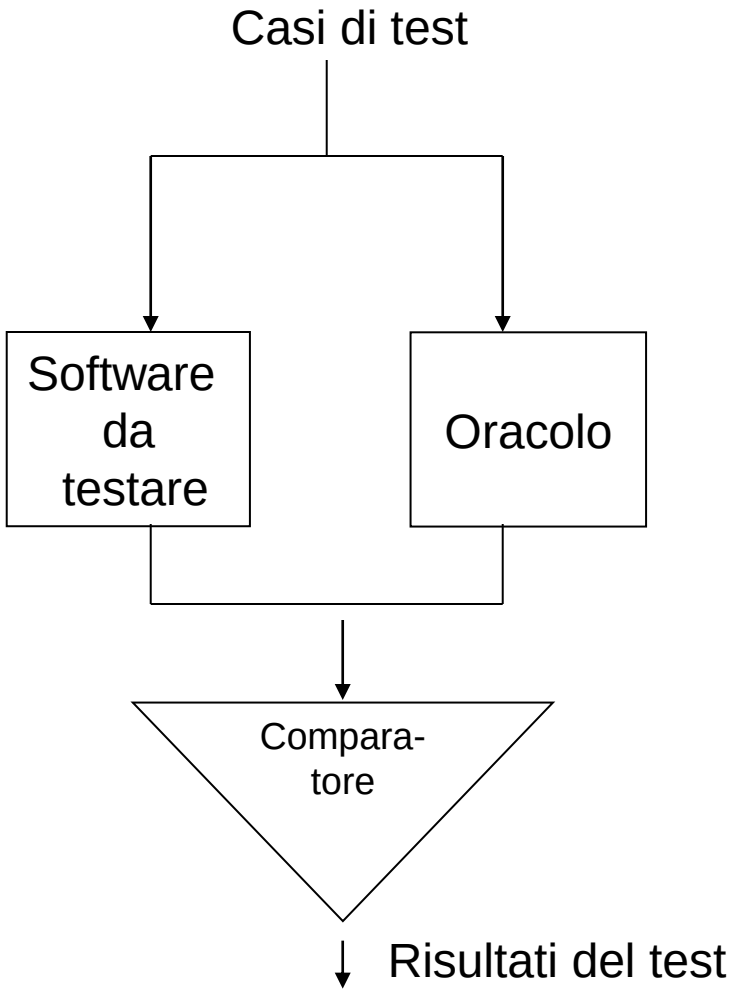
- Nota:
  - Non tutti i fault generano failure,
  - Una failure può essere generata da più fault,
  - Un fault può generare diverse failure
- Usiamo il termine **Defect** (difetto) quando non è importante distinguere fra fault e failure, per riferirsi sia alla causa (fault) che all'effetto (failure)

Test e Casi di test

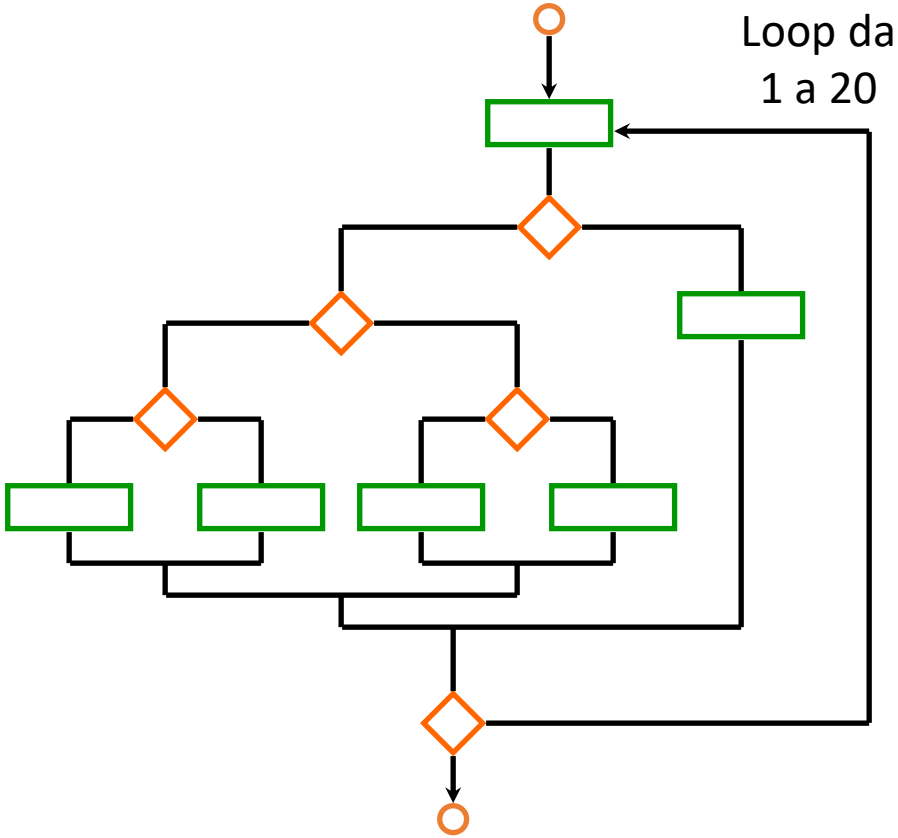
- Un programma è “stressato” da un caso di test (insieme di dati di input), o “test case”
- Un **test** è formato da un insieme di **test cases**
- L’esecuzione del test consiste nell’esecuzione del programma per tutti i casi di test
- Un test ha **successo** se rileva uno o più malfunzionamenti del programma

L’oracolo …

- Condizione necessaria per effettuare un test:
  - conoscere il comportamento atteso per poterlo confrontare con quello osservato
- L’Oracolo conosce il comportamento atteso per ogni caso di prova
- Oracolo umano
  - si basa sulle specifiche o sul giudizio
- Oracolo automatico
  - generato dalle specifiche (formali)
  - stesso software ma sviluppato da altri
  - versione precedente (test di regressione)



Problemi del testing: Test Esaustivo?



10^{14} cammini possibili

1 test / millisecondo

3170 anni per
testare questo programma

E non e' tutto ....

Problemi indecidibili

- Il settore della verifica è tormentato da problemi indecidibili
  - Un problema è detto indecidibile (irresolubile) se è possibile dimostrare che non esistono algoritmi che lo risolvono ... (macchina di Turing, halting problem, equivalenza di funzioni, etc...)
- es. stabilire se l'esecuzione di un programma termina a fronte di un input arbitrario è un problema indecidibile

V&V goals and confidence

- Verification and validation dovrebbero stabilire un certo livello di fiducia che il software è adatto ai suoi scopi (fa quello che deve fare).
  - Questo non significa completa assenza di difetti
  - Significa invece che deve essere abbastanza buono per l'uso per il quale è stato pensato e proprio il tipo di uso determinerà il livello di fiducia richiesto
- Il livello di fiducia dipende dagli scopi e funzioni del sistema, dalle attese degli utenti e dal time-to-market

Verifica Statica e Dinamica

Verifica statica e dinamica

- **Software inspections:** *Analisi statica* delle rappresentazioni del sistema per scoprire problemi (static verification)
  - L'analisi del codice e dei documenti può essere supportata da tool
- **Software testing:** *Analisi dinamica* **(**Esecuzione) e osservazione del comportamento del prodotto (dynamic verification)
  - Il sistema è eseguito con dati di test

Verifica statica

- E’ basata su tecniche di analisi statica del software senza ricorso alla esecuzione del codice
  - analisi statica: è un processo di valutazione di un sistema o di un suo componente basato sulla sua forma, struttura, contenuto, documentazione
- Tecniche: ispezione, tecniche tipo compilatore, esecuzione simbolica, ecc…
- Tool come metriche di size/complexity, analisi del flusso dati
- NON E' TESTING!

Verifica dinamica

- E' fondata sulla analisi dinamica del codice associato al software e quindi sulla esecuzione dello stesso attraverso dati di ingresso
  - analisi dinamica: il processo di valutazione di un sistema software o di un suo componente basato sulla osservazione del suo comportamento in esecuzione
- selezione di casi di test e dati associati, strumentazione del codice (es. inserzione di probe) e monitoraggio, necessità di un oracolo

Verifica Statica: Le Review

- Reviews: ispezione manuale del codice sorgente
- Due tipi di review:
  - **Walkthrough**. Lo sviluppatore presenta informalmente le API, il codice, la documentazione associata delle componenti al team di review
  - **Inspection**. Simile al walkthrough, ma la presentazione delle unità è formale.
    - Lo sviluppatore non può presentare gli artefatti. Questo è fatto dal team di review che è responsabile del controllo delle interfacce e del codice con i requisiti
    - Controlla l'efficienza degli algoritmi con le richieste non funzionali
    - Lo sviluppatore interviene solo se si richiedono chiarimenti

Analisi informali

- Analizzare la specifica dei requisiti, la specifica dei requisiti o il codice attraverso una simulazione manuale
- Code walk-through (operare come il computer)
- Ispezioni del codice – scoprire gli errori più comuni (varibili non inizializzte, salti all'interno dei cicli…)

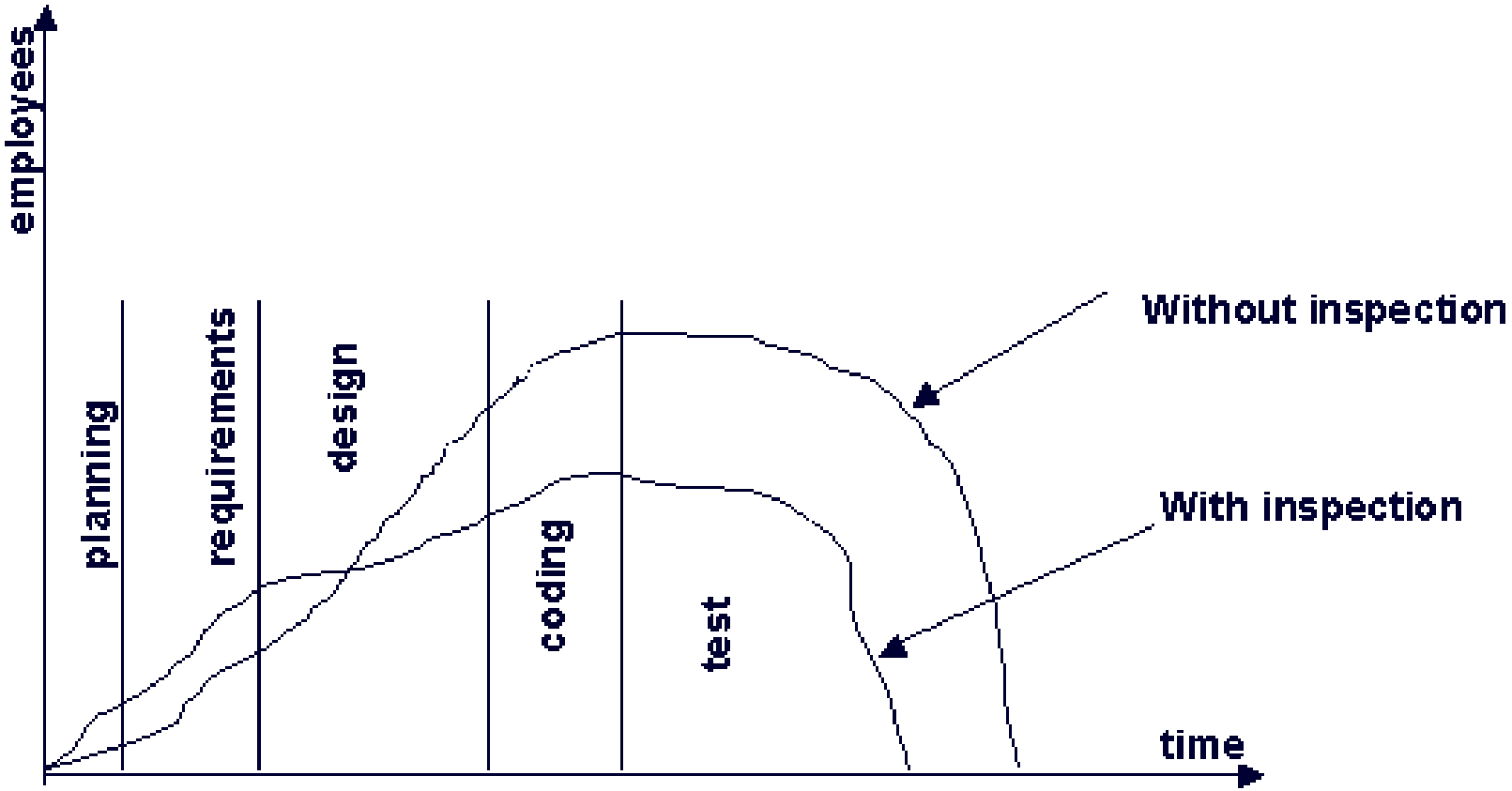
Ispezione (Fagan, 1976)

- Le Ispezioni trovano fault in una componente rivedendo il codice sorgente in meeting formali.
- E' condotta da un team di sviluppatori, incluso l'autore della componente, un moderatore e uno o più revisori che trovano i bug nella componente
- Tecniche di ispezione di codice possono rilevare ed eliminare anomalie e rendere più precisi i risultati
  - una tecnica completamente manuale per trovare e correggere errori
    - poco tecnologica, ma efficace
    - ma sono possibili alcuni supporti automatici …
- E' estendibile ad altri artefatti seguendo principi organizzativi analoghi

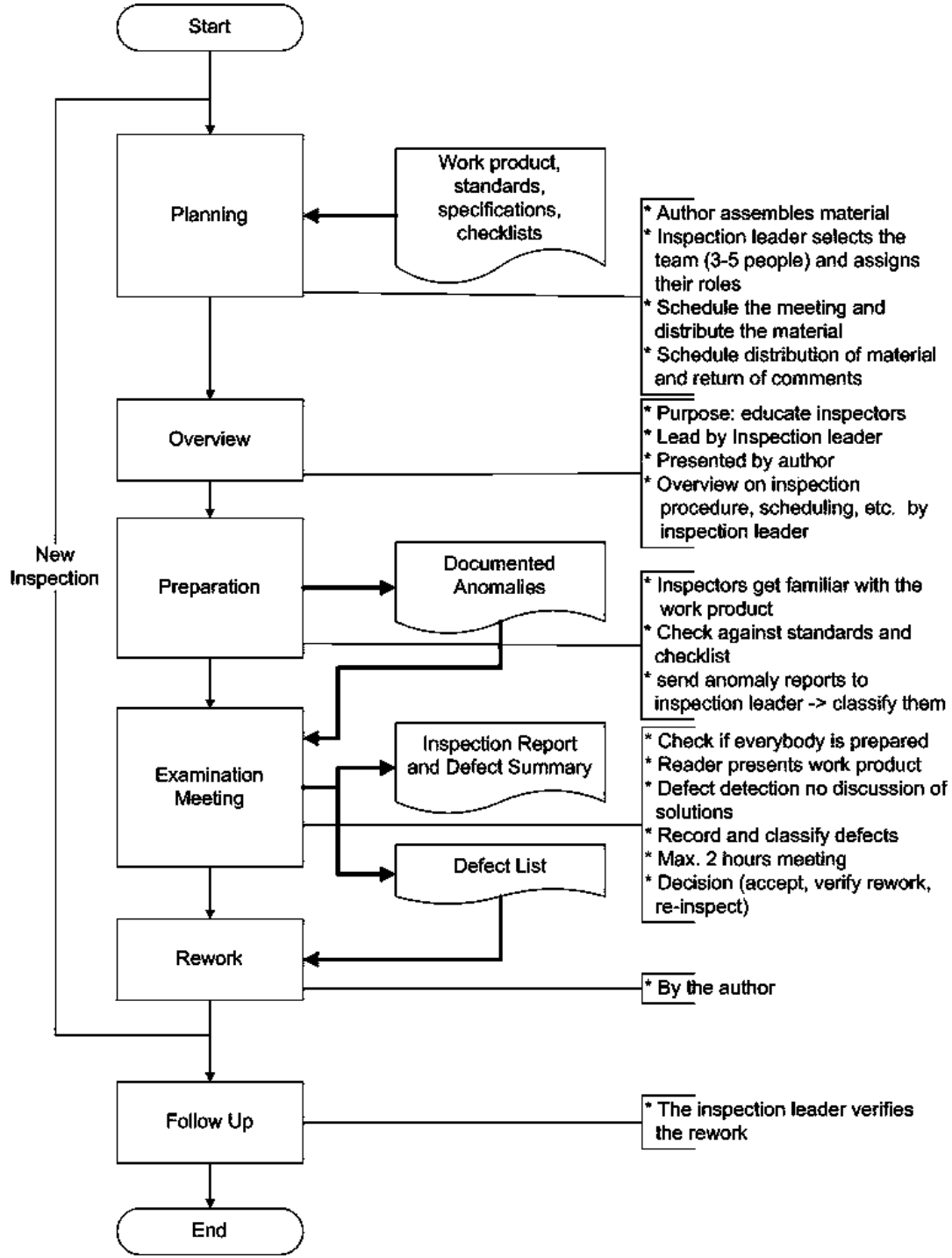
Ispezione

- Vantaggi principali rispetto al testing:
  - Durante un test, un errore può nascondere altri errori. Ciò viene superato leggendo il codice sorgente
  - Non ho necessità di sviluppare driver-stub. Posso applicarlo a codice definitivo in unità incomplete
  - Permette di valutare anche altri attributi del software (qualità, leggibilità, aderenza a standard, etc…)

Costi


employees
planning
requirements
design
coding
test
Without inspection
With inspection
time

Il Processo


Start
Planning
Work product, standards, specifications, checklists
* Author assembles material
* Inspection leader selects the team (3-5 people) and assigns their roles
* Schedule the meeting and distribute the material
* Schedule distribution of material and return of comments
Overview
* Purpose: educate inspectors
* Lead by Inspection leader
* Presented by author
* Overview on inspection procedure, scheduling, etc. by inspection leader
New Inspection
Preparation
Documented Anomalies
* Inspectors get familiar with the work product
* Check against standards and checklist
* send anomaly reports to inspection leader -> classify them
Examination Meeting
Inspection Report and Defect Summary
Defect List
* Check if everybody is prepared
* Reader presents work product
* Defect detection no discussion of solutions
* Record and classify defects
* Max. 2 hours meeting
* Decision (accept, verify rework, re-inspect)
Rework
* By the author
Follow Up
* The inspection leader verifies the rework
End

Ruoli nell’ispezione di software

- moderatore:
  - tipicamente proviene da un altro progetto. Presiede le sedute, sceglie i partecipanti, controlla il processo .
- lettori, addetti al test:
  - leggono il codice al gruppo, cercano difetti
- autore:
  - partecipante passivo; risponde a domande quando richiesto

Il processo di ispezione del software

- pianificazione
  - scelta di partecipanti e checklist, pianificazione di meeting
- fasi preliminari
  - fornite le informazioni necessarie e assegnati i ruoli
- preparazione
  - lettura del documento, individuazione dei difetti
- Ispezione
  - meeting: raccolta e discussione congiunta dei problemi trovati dai singoli revisori, ricerca di ulteriori difetti
- lavoro a valle
  - l'autore modifica il documento per rimuovere i difetti
- seguito (possibile re-ispezione)
  - controllo delle modifiche, modifica delle checklist

Nelle riunioni …

- obiettivo: trovare il maggior numero possibile di difetti
  - massimo 2 riunioni al giorno di 2 ore ciascuna
  - circa 150 linee di codice sorgente all'ora
- approccio: parafrasare il codice linea per linea
  - ricostruire l'obiettivo dal codice sorgente
- necessario restare in tema
  - seguire le checklist
  - trovare e registrare difetti, ma non correggerli
  - il moderatore è responsabile di evitare anarchia

Checklist – Esempio NASA

- circa 2.5 pagine per codice C , 4 per FORTRAN
  - diviso in: funzionalità, uso dei dati, controllo, connessioni, calcolo, manutenzione, chiarezza
- esempi:
  - ogni modulo contiene una singola funzione?
  - il codice corrisponde al progetto dettagliato?
  - i nomi di constante sono maiuscoli?
  - si usa il cast di tipo dei puntatori?
  - “INCLUDE”annidati di files sono evitati?
  - gli usi non standard sono isolati in sottoprogrammi e ben documentati?
  - i commenti sono sufficienti per capire il codice?

Checklist per Java

- Sintassi
  - controlli ortografici, grammaticali e linguistici
  - commenti formattati per javadoc …
- Struttura
  - ci sono dati identificativi (titolo, data, versione, autore)
  - librerie non standard usate, piattaforma Java richiesta
- Stile
  - Non c’è un uso indiscriminato di abbreviazioni
  - Non ci sono troppe ripetizioni
  - Linguaggio comprensibile e frasi leggibili
  - Il commento è presente in ogni classe
  - Il commento è ben visibile nel file
  - Le variabili sono commentate quando sono dichiarate
  - I commenti non sono dispersivi (mal disposti, interrotti e ripresi)
  - I commenti non sono esageratamente densi nel codice (compromettendo la leggibilità del codice)

Example Defect List Form

Project:	_____	**Meeting Date:**	_____
Phase:	_____	**Release:**	_____
Component:	_____	**Document:**	_____
Preparation Time:	_____	**Inspector:**	_____

#	Location				Defect Description	Defect			Rwk Tm*
	Pg	Sec	Para	Sen		Type	Class	Sev	

Inspection Defect Log

Product	Simple Sort	**Date**	October 23, 1999	
Author	Fraser Macdonald			
Defect#	**Description**	**Type**	**Location**	**Severity**
1	Function max() is defined, but never used. No failure apparently, but checklist violation.	function calls	line 12, function max()	trivial
2	Parameters are passed by value, not by reference. "swap" doesn't correctly swap the numbers, so the sort is not carried out correctly.	function calls	line 5, function swap()	failure

Perché l’ispezione funziona?

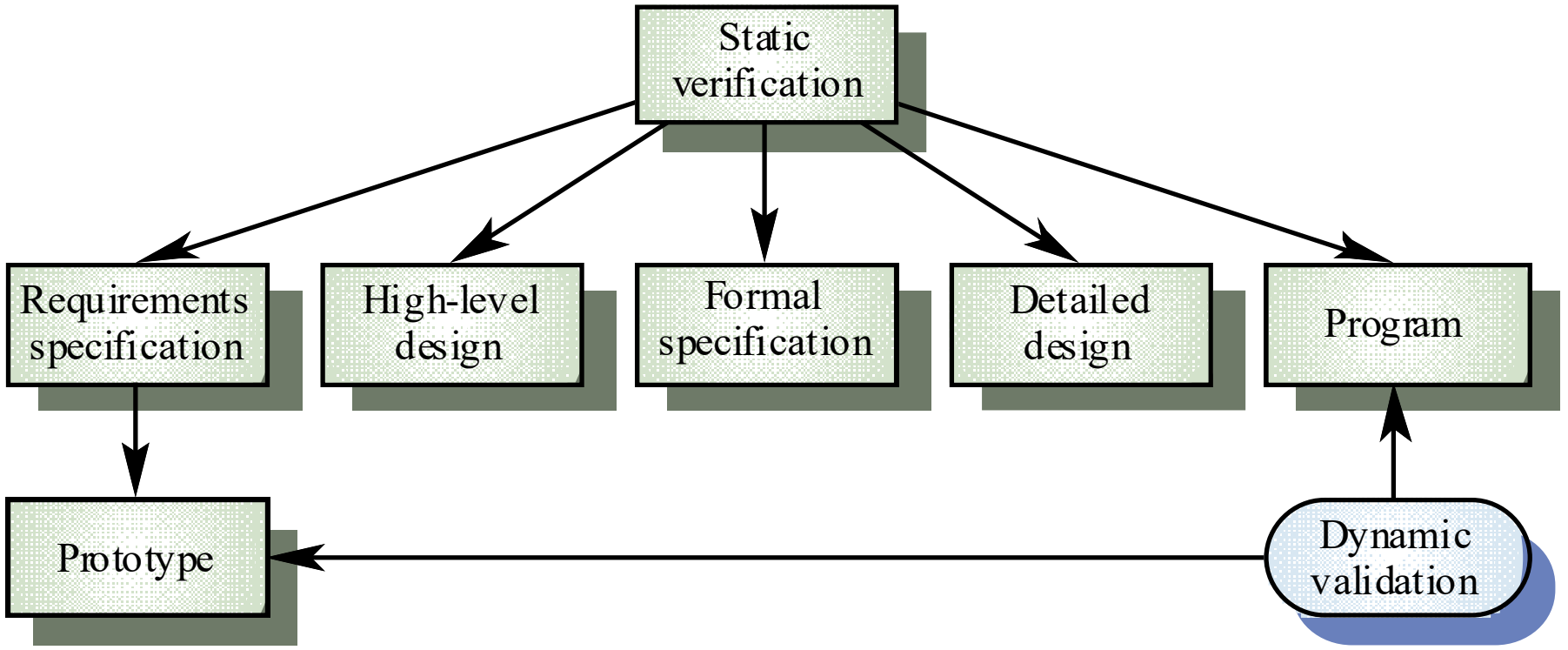
- Il metodi di ispezione sono molto efficaci: Circa 85% dei fault può essere individuato
- L’evidenza dice che è cost-effective, perchè?
  - Processo formale, dettagliato con tracciamento dei risultati
  - Check-lists: processo che si automigliora
  - Aspetti sociali del processo, specialmente per gli autori
  - Considera l’intero spazio di ingresso
  - Si applica anche a programmi incompleti
- Limiti
  - Scala: tecnica inerentemente a livello di unità
  - Non incrementale

Verifica Dinamica

Verifica dinamica

- E' fondata sull'esecuzione del codice (testing)
  - analisi dinamica: il processo di valutazione di un sistema software o di un suo componente basato sulla osservazione del suo comportamento in esecuzione
- **Testing**: Approccio strutturato alla selezione di casi di test e dati associati
- **Debugging**: non c'è uniformità in letteratura
  - In generale, riguarda l'individuazione e l'eliminazione dei difetti
  - Debugging implica formulare ipotesi osservando il comportamento del programma e quindi verificare queste ipotesi per localizzare gli errori

Static and dynamic V&V



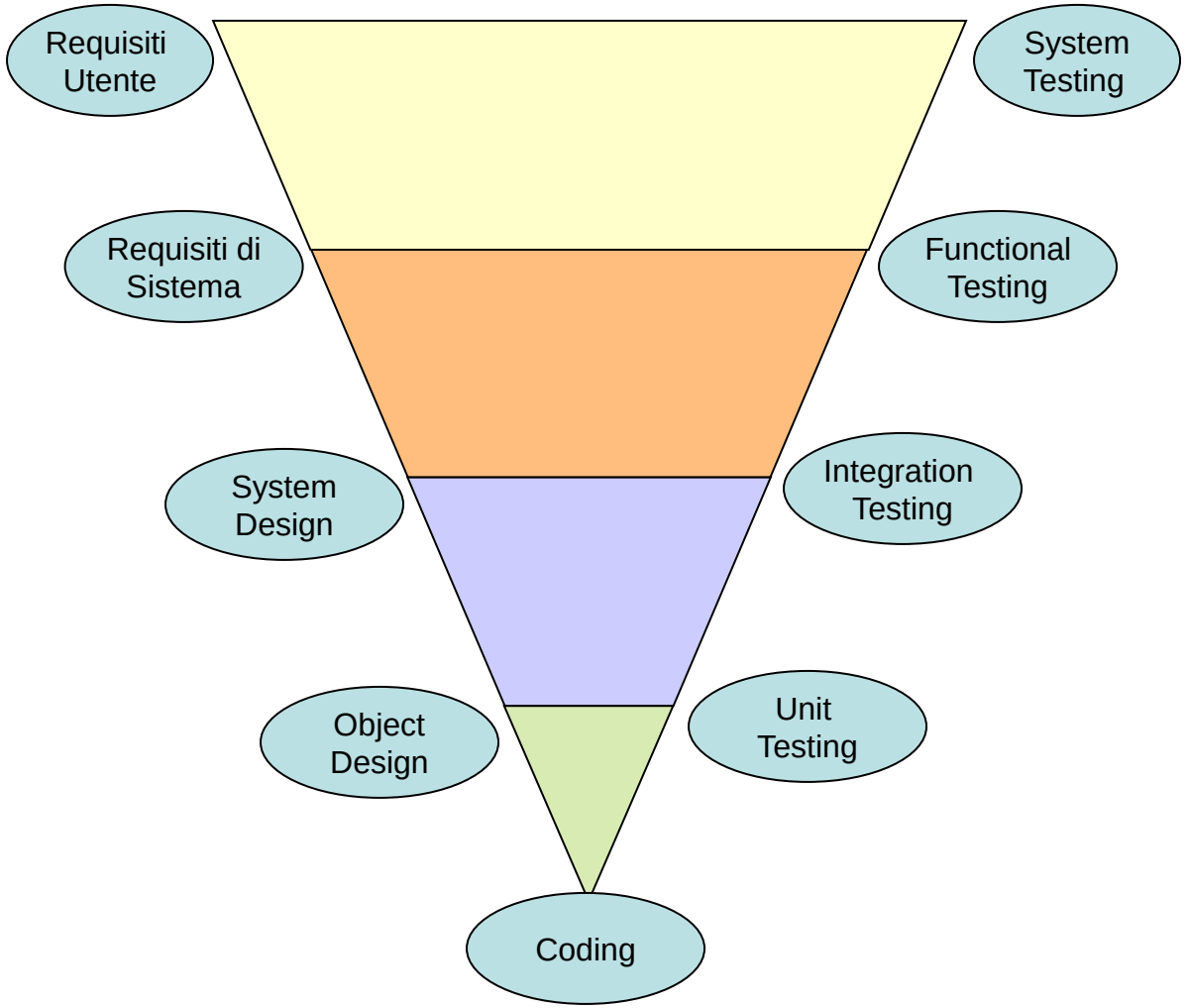
Overview

- Il Testing consiste nel trovare le differenze tra il comportamento atteso, specificato attraverso il modello del sistema/modulo/unità e il comportamento osservato dal sistema/modulo/unità implementato.
- Obiettivo: progettare test per provare il sistema e rivelare problemi
  - Massimizzare il numero di errori scoperti che consentirà agli sviluppatori di correggerli
- Questa attività va in contrasto con le altre attività svolte prima: analisi, design, implementazione sono attività “costruttive”. Il testing invece tenta di “rompere” il sistema
- Il testing dovrebbe essere realizzato da persone che non sono state coinvolte nelle attività di sviluppo del sistema

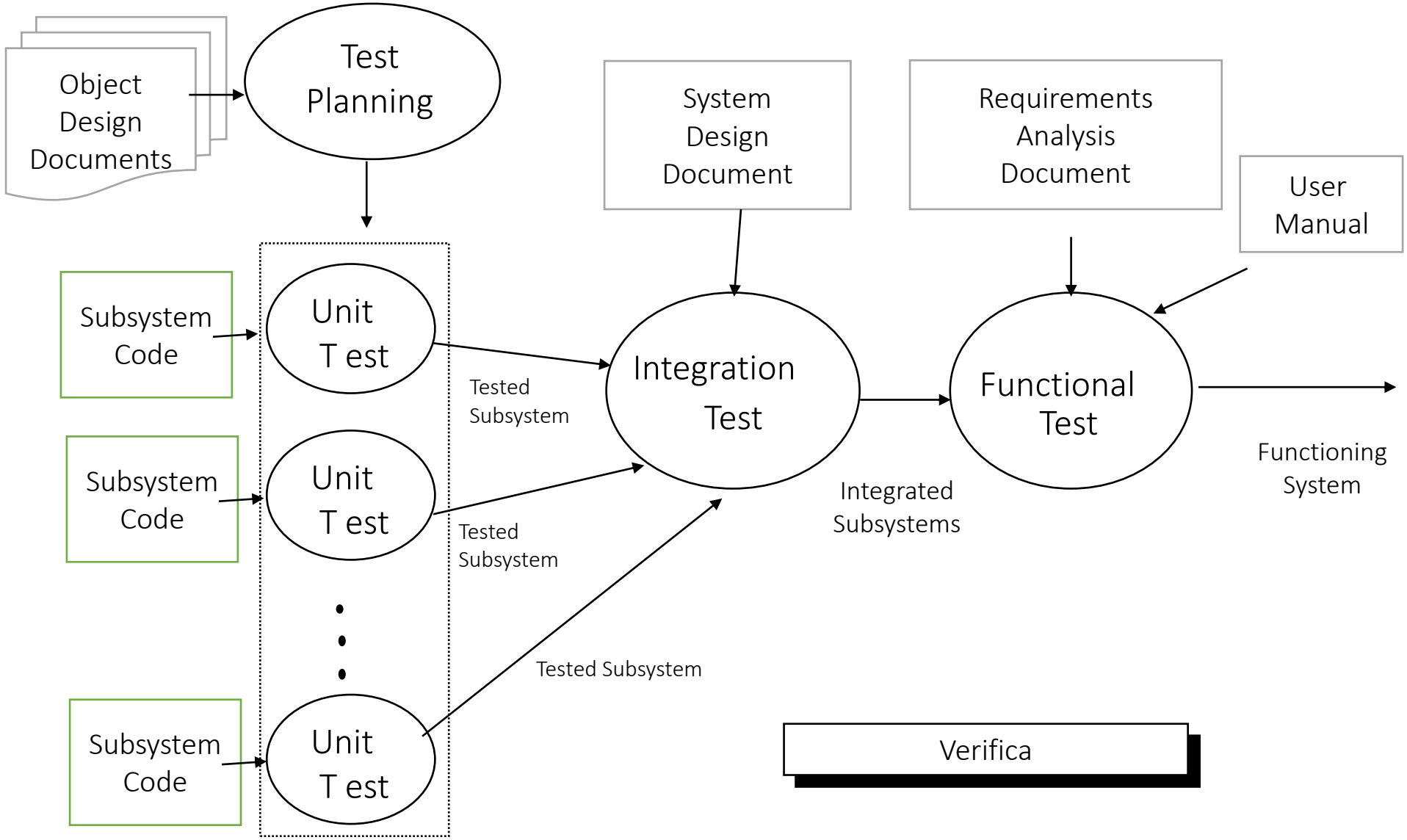
Cosa testare?

- Il testing avviene a vari **livelli**:
  - Unit testing
    - Trovare differenze tra object design model e corrispondente componente
  - Integration testing
    - Trovare differenze tra system design model e un sottoinsieme integrato di sottosistemi
  - Functional testing
    - Trovare differenze tra use case model e il sistema
  - System testing
    - Trovare differenze tra requisiti non funzionali e il sistema

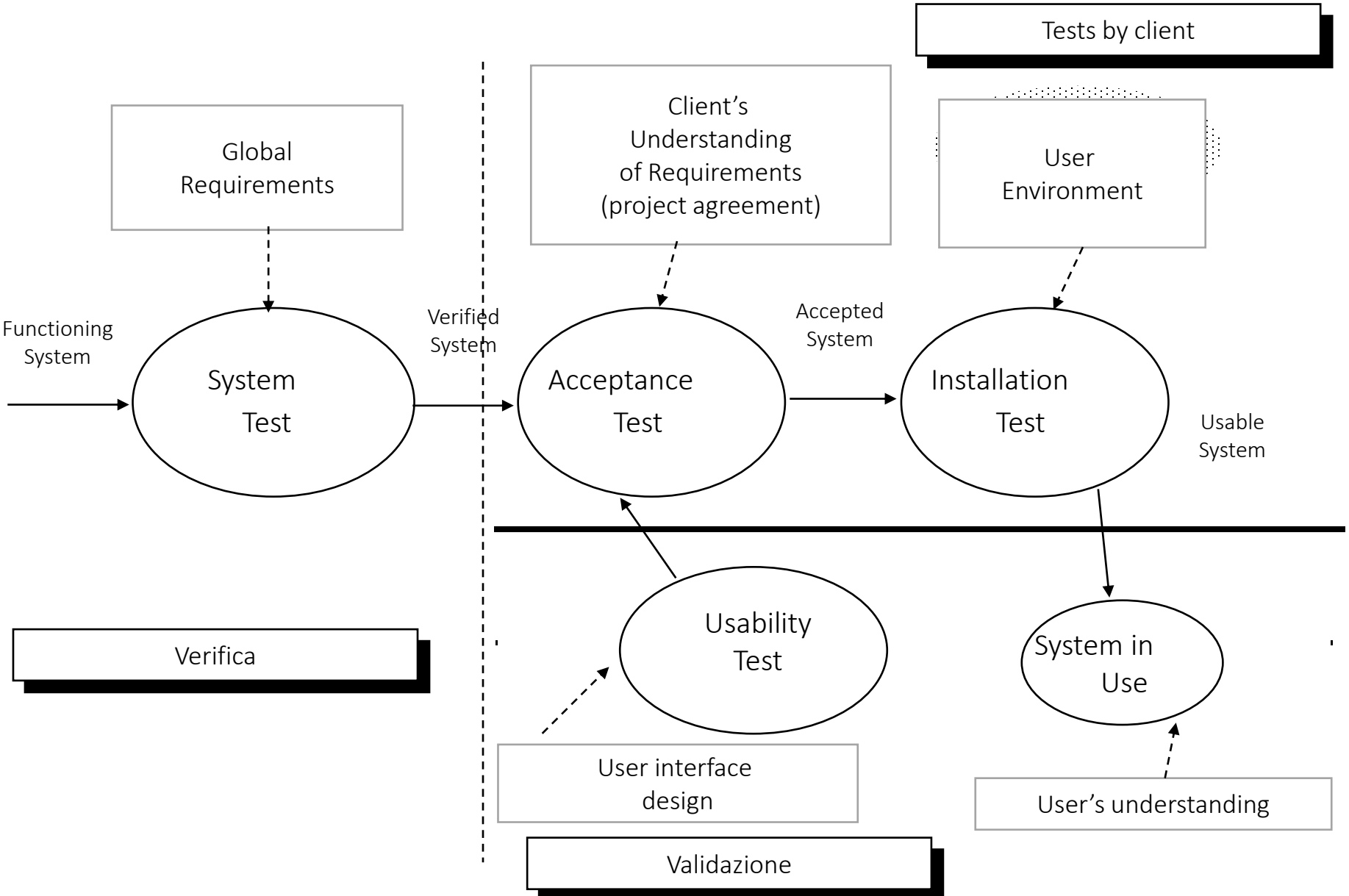
Il modello di sviluppo a V



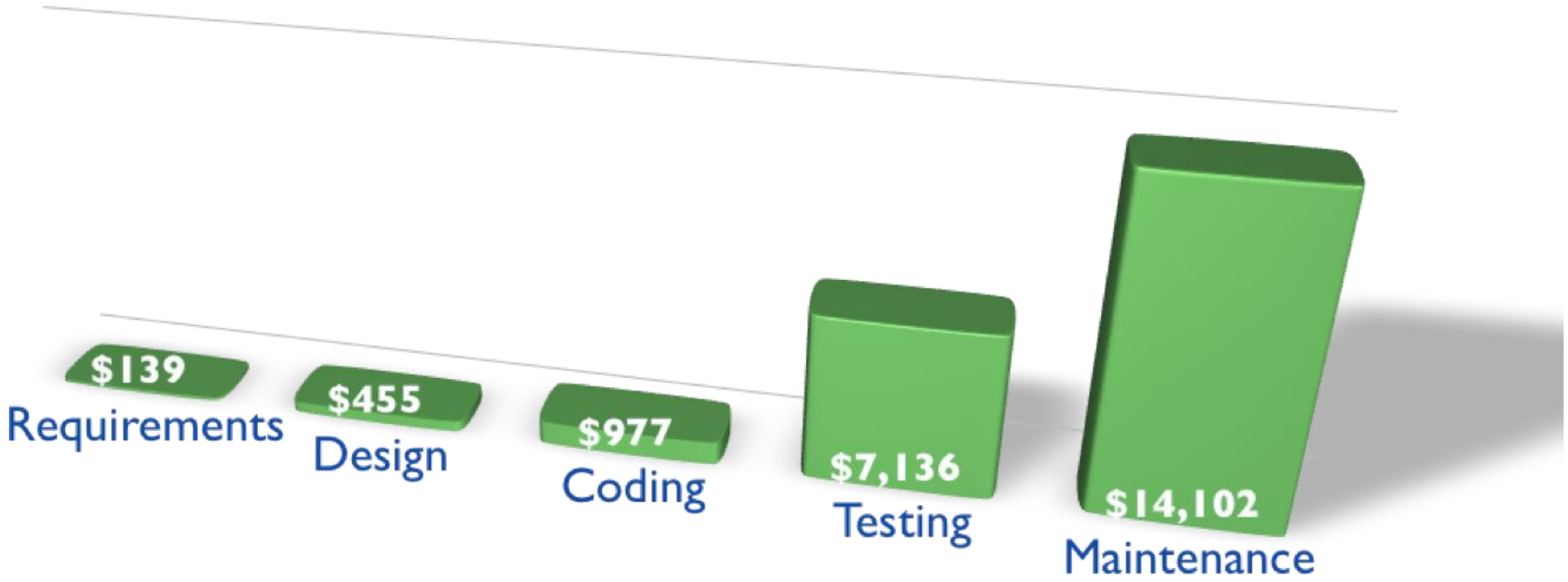
Livelli di Testing



Livelli di Testing (2)



I Costi


$139
Requirements
$455
Design
$977
Coding
$7,136
Testing
$14,102
Maintenance