Collaudo ingegneristico

Ogni disciplina ingegneristica fa precedere alla consegna del prodotto il suo collaudo (es. edifici, ponti) in cui:

- Si verifica l'aderenza della realizzazione ai requisiti (un test assicura infinite situazioni corrette)
- Vengono esaminati tutti i documenti di progetto

Il caso del sw

- Convalida (validation): il sw realizza i requisiti del cliente? (Are we building the right product?)
- Verifica (verification): il sw implementa senza errori quanto espresso nella sua specifica? (Are we building the product right?)
  In senso ampio, il termine verifica include la convalida

La verifica nell'ingegneria del sw (differenze rispetto alle altre discipline ingegneristiche)

- Verificare il sw in un punto non garantisce nulla circa il comportamento negli altri
  Esempio `a = …./(x + 32)`
  Ogni valore di `x` va bene eccetto (-32)
- La verifica non è una fase ma uno stile che deve dare forma a tutto il ciclo di sviluppo
- La pianificazione delle attività di verifica è essenziale al fine di:
  - ✓Ottenere una visibilità precoce e continua
  - ✓Scegliere tecniche appropriate per ciascuno stadio
  - ✓Costruire un prodotto testabile

Approcci alla verifica (complementari e non antitetici)

- Ispezioni
  - ✓Tecnica statica: analisi manuale (o assistita) di codice e documenti
  - ✓Precedono il testing del sw
  - ✓Focalizzate sulle proprietà
  - ✓Non coprono la convalida

- Testing
  - ✓Tecnica dinamica: si esegue il sw per osservare il suo comportamento
  - ✓Sperimentazione con il comportamento dei prodotti
  - ✓Obiettivo: trovare controesempi
  - ✓Copre la convalida

Definizioni (non standardizzate)

- Malfunzionamento (failure): il comportamento del sw è diverso da quello atteso
- Difetto (anomalia, fault, defect, bug): frammento di codice scorretto rispetto alle sue specifiche
- Errore (error): errata interpretazione delle specifiche durante la codifica (o semplice errore di digitazione)

Testing e debugging

1) Testing: cerca di aumentare la probabilità che la presenza di un difetto si manifesti con un malfunzionamento $\rightarrow$ scopre la presenza di un difetto
2) Debugging: cerca di localizzare il difetto (la cui presenza è stata identificata attraverso il testing) il più in fretta possibile
3) Eliminazione del difetto
4) Ripetizione del test che ha evidenziato il difetto, per accertarsi che sia stato eliminato (per sistemi in tempo reale o concorrenti la ripetibilità può essere difficile)

Testing: una formalizzazione

Il testing non può essere casuale perché inefficace (è cieco, vedi es.
`a = …./(x + 32) )`

- P (programma), D (dominio dei dati d'ingresso), R (dominio dei dati d'uscita)
- Comportamento atteso OK: $D \rightarrow R$ (può essere una funzione parziale)
- Comportamento effettivo di P, assunto in ingresso $d \in D$: P(d)
- P(d) è corretto se $<d, P(d)> \in OK$
- P è corretto se $\forall d \in D, <d, P(d)> \in OK$; si scrive ok(P)

Casi di test

- Test set (o suite): $T \subseteq D$, T finito
- Test case: $t \in T$
- se P(t) è corretto si scrive ok(P,t)
- se, $\forall\ t \in T$, ok(P,t) si scrive ok(P,T)
- T è un test set ideale se $ok(P,T) \Rightarrow ok(P)$
  ovvero, se P non è corretto, esiste almeno un $t \in T$ tale che $<t, P(t)> \notin OK$

Criteri (di selezione) di test set

Definizioni

- C è un criterio se $C \subseteq 2^D$
- il test set T soddisfa C se $T \in C$

Proprietà

- C è consistente se ogni test set che soddisfa C fornisce le stesse info: $\forall(T_i, T_j), T_i \in C, T_j \in C, ok(P,T_i) \Leftrightarrow ok(P,T_j)$
- C è completo se, nel caso P non sia corretto, esiste almeno un $T_i \in C$ che non ha successo (cioè esiste almeno un $T_i \in C$ per cui $ok(P,T_i)$ è falso)
- C è completo e consistente: $\forall T \in C$ è un test set ideale $\rightarrow$ consente di provare la correttezza di P attraverso il testing

Tesi di Dijkstra (1972)

“Il testing di un programma può rilevare la presenza di malfunzionamenti ma mai dimostrarne l’assenza”

A sostegno della tesi di Dijkstra, il teorema di Howden afferma che, dato un programma arbitrario P, non esiste alcun algoritmo in grado di derivare un test set ideale (ovvero, non esiste una procedura effettiva per generare un criterio costruttivo che sia consistente e completo)

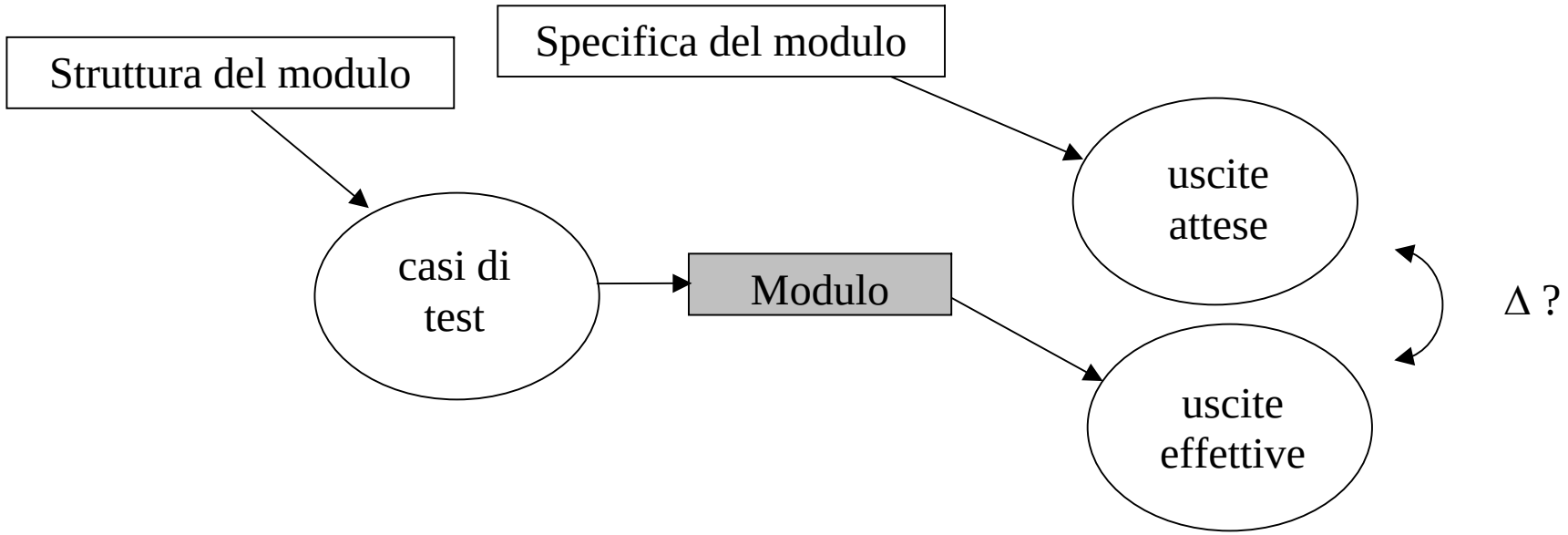
Testing: una classificazione

- Testing di unità (o di componente o in piccolo): verifica di moduli individuali; di solito (se il sistema non è critico) è di responsabilità dello sviluppatore
  - ✓White box (o strutturale): basato sul codice del modulo considerato
  - ✓Black box (o funzionale): basato sulle specifiche del modulo considerato

- Testing in grande: verifica black box di più moduli o dell'intero sistema, di responsabilità di una squadra indipendente
  - ✓Di integrazione
  - ✓Di sistema
  - ✓Di accettazione
  - ✓Di regressione

Testing white box (testing di copertura strutturale)

- Deriva i casi di test dal codice del modulo considerato
- È inadeguato se parti significative del programma non vengono testate
- Si distingue in
  - ♦ Testing dei cammini (path testing)
  - ♦ Testing del flusso di dati (data-flow testing)



Testing dei cammini

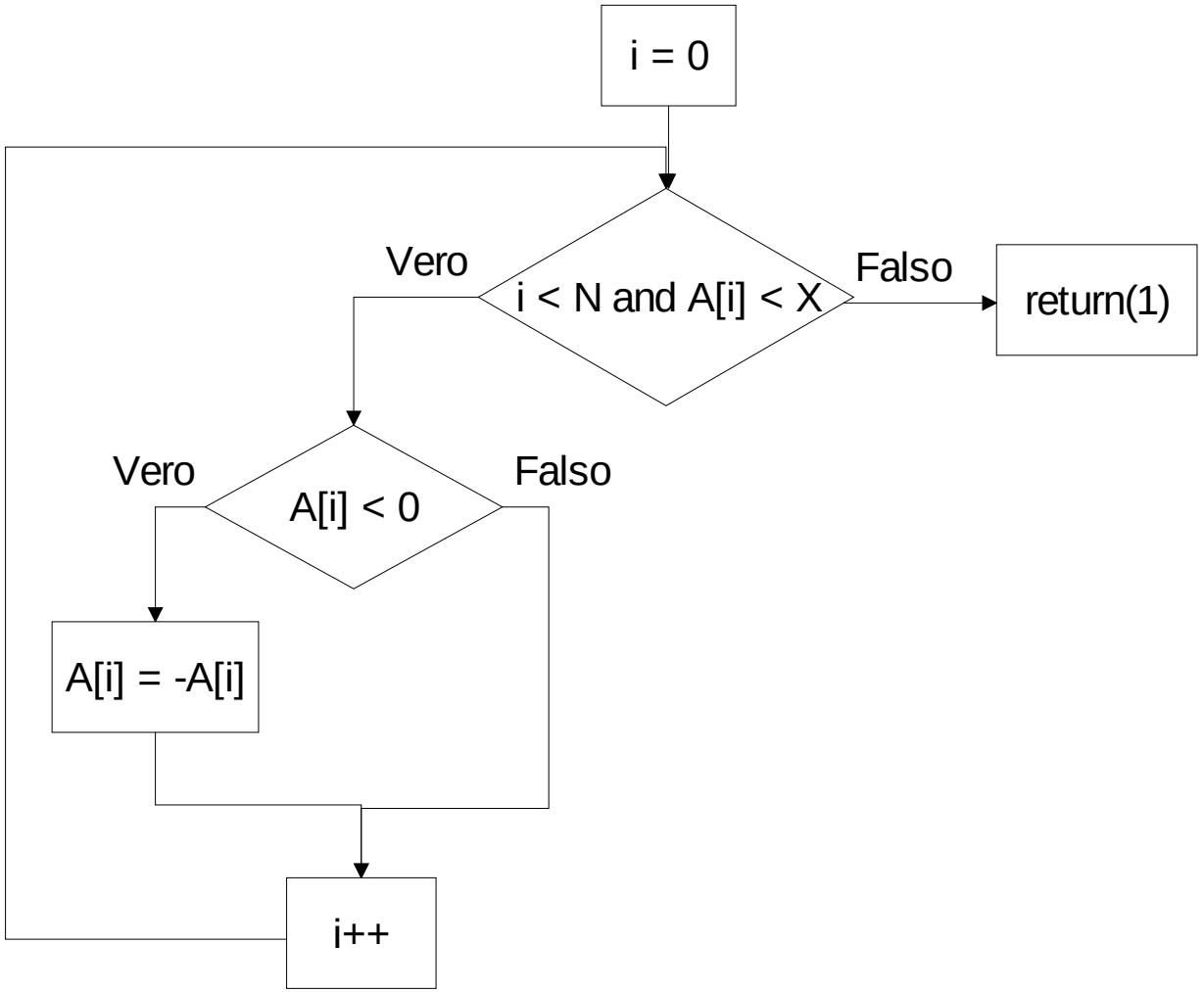
Criteri di copertura (per cui esistono strumenti automatici di supporto alla generazione dei casi di test):

- ✓Copertura delle istruzioni (Statement coverage o node coverage)
- ✓Copertura dei rami (Branch coverage o edge coverage)
- ✓Copertura delle condizioni (Condition coverage)
- ✓Copertura di rami/condizioni (Branch/condition coverage)
- ✓Copertura dei cammini (Path coverage)

Il modulo M come esempio

```
int trasforma_vettore(int A[], int N, int X)
{
   int i = 0;
   while (i < N and A[i] < X)
   {
      if (A[i] < 0)
         A[i] = - A[i];
      i++;
   }
   return(1);
}
```

Il modulo M come esempio (cont.)



Copertura delle istruzioni

Selezionare un test set tale che ogni istruzione sia eseguita almeno una volta

Per M basta un solo test, ad es. (N=1, A[0]= -7, X=9) a garantire questa copertura

Attenzione: possono esistere istruzioni irraggiungibili

Copertura dei rami

Selezionare un test set tale che ogni ramo del flusso di controllo uscente da un blocco decisionale sia attraversato almeno una volta

Per M basta aggiungere un solo test, ad es. (N=1, A[0]=7, X=9), a garantire questa copertura

Attenzione: possono esistere rami irraggiungibili

Copertura delle condizioni

Selezionare un test set tale che ogni costituente di una condizione (semplice o composta) assuma almeno una volta il valore Vero e almeno una volta il valore Falso

Per M basta aggiungere un test, che causi l'uscita dal ciclo while perché (A[i] < X) è falsa, a garantire questa copertura

Attenzione: possono esistere condizioni e costituenti di condizioni irraggiungibili

Copertura di rami/condizioni

Selezionare un test set tale che ogni ramo del flusso di controllo uscente da un blocco decisionale sia attraversato almeno una volta e ogni condizione costituente di una condizione composta assuma almeno una volta il valore Vero e almeno una volta il valore Falso

Copertura dei cammini

Selezionare un test set tale per cui ogni cammino del flusso di controllo che parte dal nodo iniziale e termina nel nodo finale sia attraversato almeno una volta

Attenzione: possono esistere cammini impercorribili

Problema: in presenza di cicli il numero di cammini è in generale indefinito

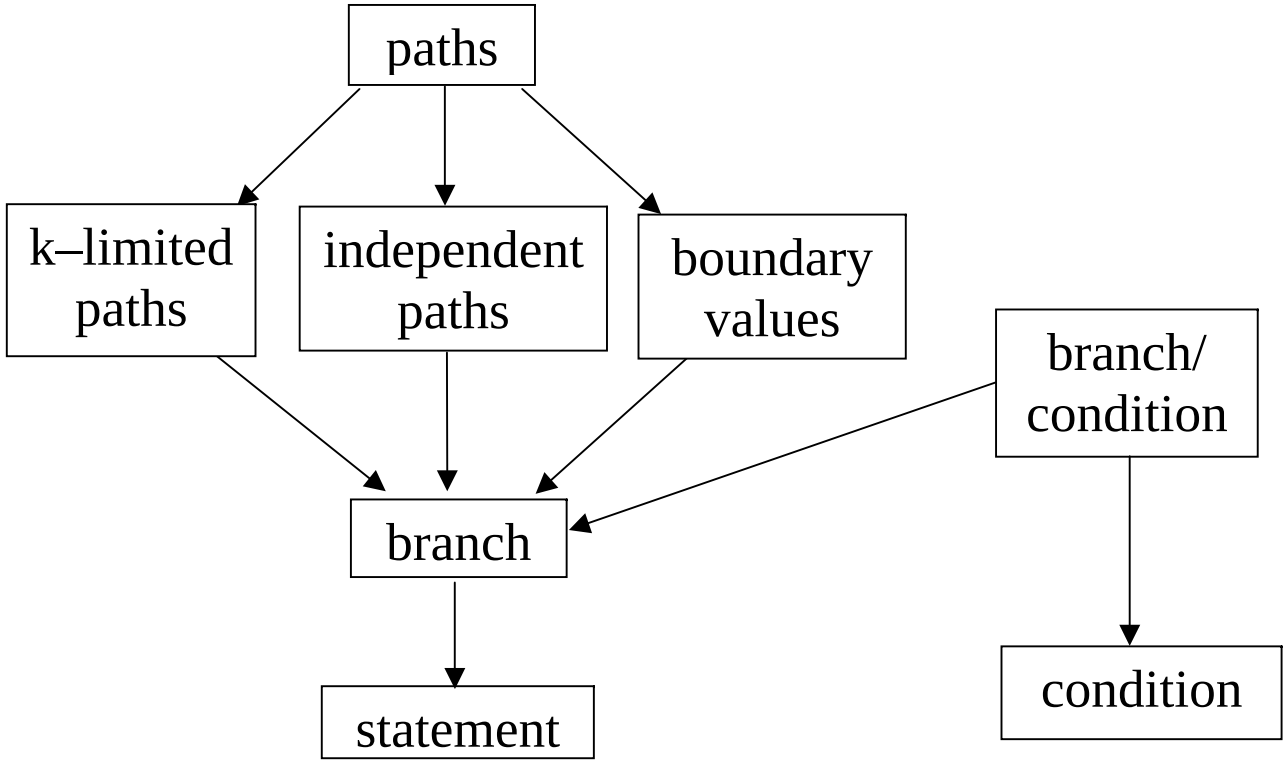
↓

Soluzione: il vincolo di copertura totale resta forte per tutti i sotto-cammini privi di cicli mentre viene rilassato per i sotto-cammini ciclici

Copertura dei sotto-cammini ciclici: tre alternative

- *Cammini indipendenti* (independent paths): si scelgono solo i cammini linearmente indipendenti (il loro numero è pari al numero ciclomatico e, N.B., non è detto siano tutti cammini che terminano nel nodo finale), cioè si seleziona un test set tale che ogni cammino indipendente sia eseguito almeno una volta
- *Cammini k-limited* (k-limited paths): si limita il numero massimo di percorrenze dei cicli a k (k-limiting), cioè si seleziona un test set tale che ogni cammino contenente un numero di iterazioni di ogni ciclo ≥ 0 e $\leq k$ sia eseguito almeno una volta (k può essere una costante, con valore tipico pari a 2, oppure può variare da ciclo a ciclo, in base a considerazioni circa la significatività dei test da condurre)
- *Valori limite* (boundary values): se un ciclo può essere eseguito al più M volte, si seleziona un test set tale che ogni cammino contenente un numero di iterazioni di ogni ciclo ≥ 0 e $\leq M$ sia eseguito almeno una volta; se il ciclo può essere eseguito un numero di volte indefinito, si ricorre al criterio 2-limiting

Testing dei cammini: forza relativa dei criteri di copertura



Data Flow testing

Criteri di copertura:

- ✓Tutti (i cammini) definizione-uso (All def-use o all-du)
- ✓Tutti gli usi (All uses)
- ✓Tutte le definizioni (All definitions)
- ✓Tutti i p-usi/alcuni c-usi (All p-uses/some c-uses)
- ✓Tutti i c-usi/alcuni p-usi (All c-uses/some p-uses)
- ✓Tutti i p-usi
- ✓Tutti i c-usi

Data Flow testing: alcune definizioni

definizione di una variabile = assegnamento di un valore alla variabile

p-uso di una variabile = uso della variabile in un predicato

c-uso di una variabile = uso computazionale della variabile

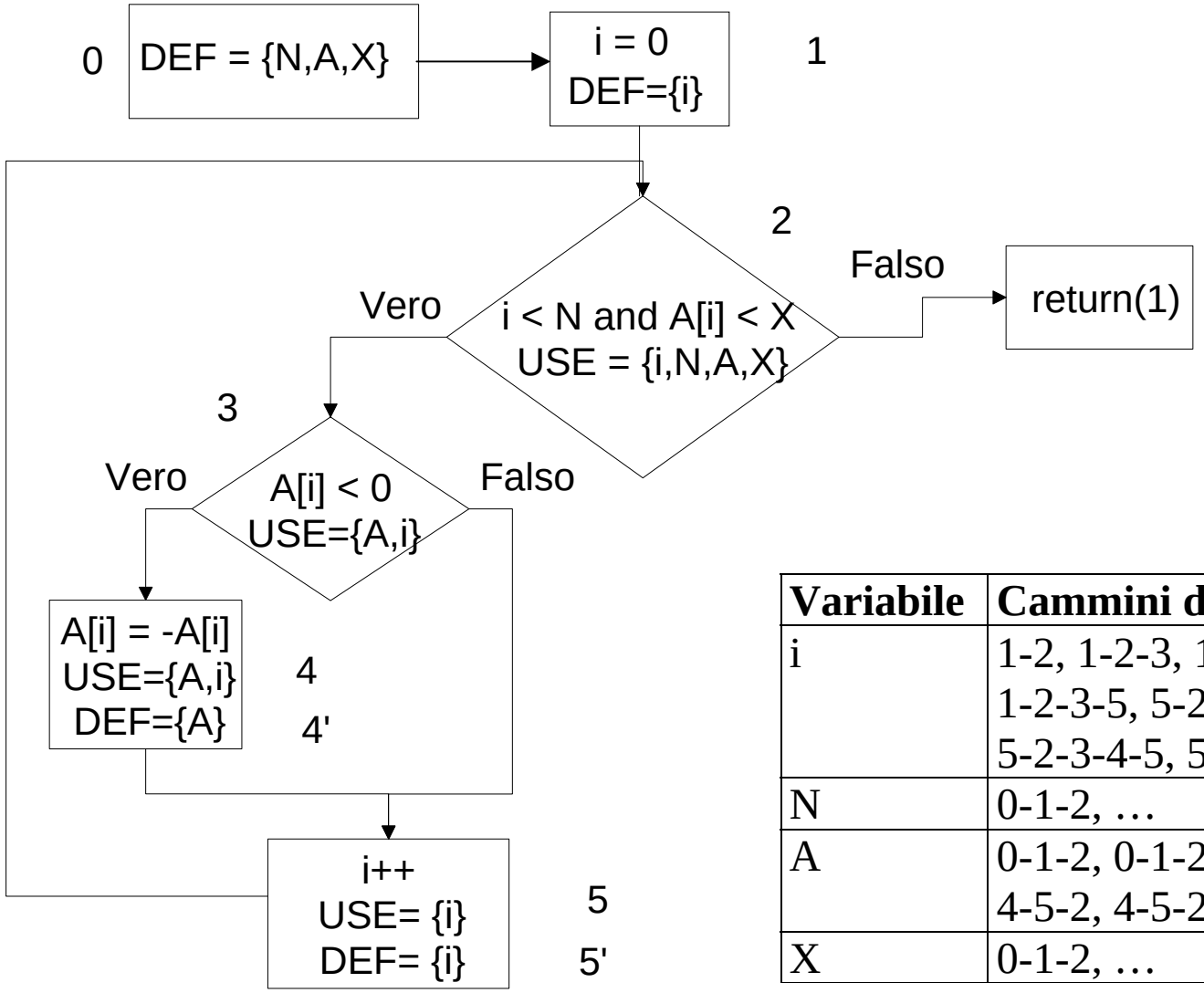
uso di una variabile = p-uso o c-uso

Cammino di definizione-uso di una variabile = cammino che parte da un nodo in cui la variabile viene definita, termina in un nodo in cui viene usata e tale che tutti i nodi intermedi sono liberi da definizioni della variabile considerata (suddividere idealmente ciascun nodo in cui la stessa variabile è sia usata, sia definita in due nodi in sequenza, il primo in cui viene usata e il secondo in cui viene definita)

Copertura dei cammini definizione-uso

Selezionare un test set tale che ogni cammino definizione-uso di ogni variabile del programma sia esercitato almeno una volta

Cammini definizione-uso del modulo M



Variabile	Cammini du
i	1-2, 1-2-3, 1-2-3-4, 1-2-3-4-5, 1-2-3-5, 5-2, 5-2-3, 5-2-3-4, 5-2-3-4-5, 5-2-3-5
N	0-1-2, …
A	0-1-2, 0-1-2-3, 0-1-2-3-4, 4-5-2, 4-5-2-3, 4-5-2-3-4, …
X	0-1-2, …

Copertura degli usi

Selezionare un test set tale che, per ogni coppia (definizione, uso) di ogni variabile del programma, sia esercitato almeno un cammino definizione-uso (se esiste) relativo a tale coppia

Copertura delle definizioni

Selezionare un test set tale che, per ogni definizione di ogni variabile del programma, sia esercitato almeno un cammino definizione-uso (se esiste) da tale definizione ad almeno un uso della stessa variabile

Copertura dei p-usi/alcuni c-usi

Criterio di copertura dei p-usi: selezionare un test set tale che, per ogni coppia di nodi (definizione, p-uso) di ogni variabile del programma, sia esercitato almeno un cammino privo di definizioni che li connette (se esiste)

+

Per ogni definizione di variabile che rimanga scoperta dalla prescrizione precedente, è richiesta la copertura da parte del test set di almeno un cammino da tale definizione a qualche c-uso della variabile stessa

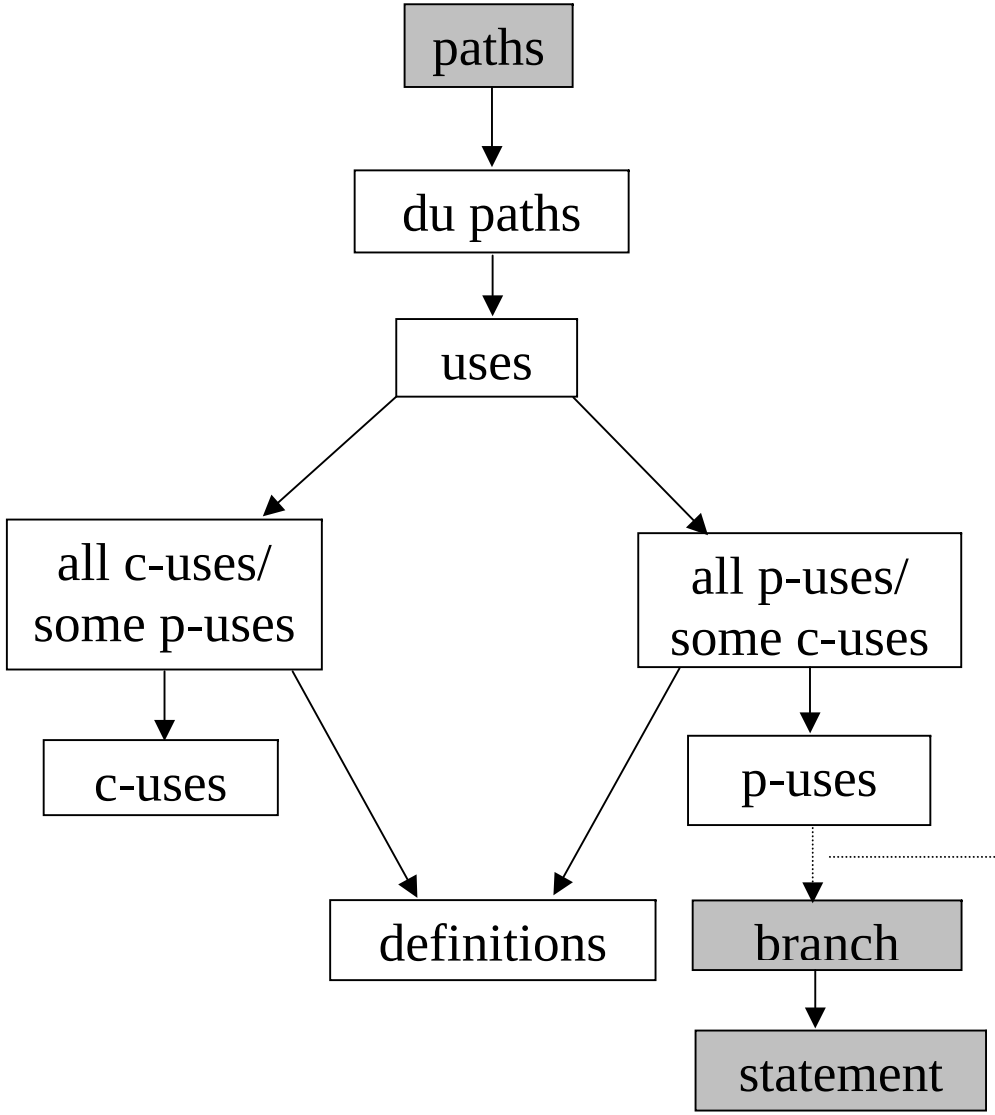
Copertura dei c-usi/alcuni p-usi

Criterio di copertura dei c-usi: selezionare un test set tale che, per ogni coppia di nodi (definizione, c-uso) di ogni variabile del programma, sia esercitato almeno un cammino privo di definizioni che li connette (se esiste)

+

Per ogni definizione di variabile che rimanga scoperta dalla prescrizione precedente, è richiesta la copertura da parte del test set di almeno un cammino da tale definizione a qualche p-uso della variabile stessa

Forza relativa dei criteri di copertura



Questa sussunzione sussiste sse è soddisfatto il vincolo aggiuntivo che ogni predicato sia valutato sia Vero, sia Falso

Valutazione di test set basati su criteri di copertura

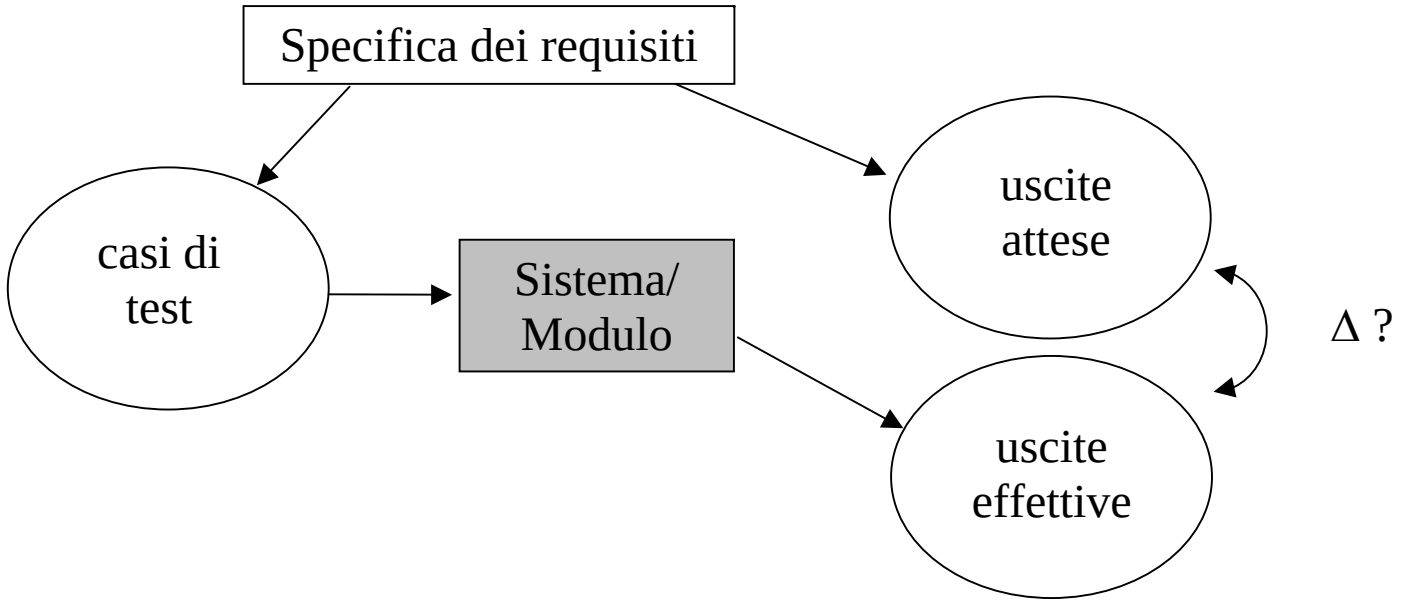
$$\frac{numero\_di\_elementi\_coperti}{numero\_totale\_di\_elementi}$$

Idealmente il rapporto (che, moltiplicato per 100 è espresso in %, ad es. 95% di copertura delle istruzioni) dovrebbe valere 1 ma può essere impossibile ottenere questo risultato

Testing black box

Deriva i casi di test dalle specifiche → se le specifiche sono in linguaggio naturale la generazione dei test set non può essere automatizzata

- Equivalence partitioning
- Boundary value analysis
- Testing guidato dalla sintassi



Equivalence partitioning

Effettuare una partizione {D1, D2, …, Dn} del dominio D dei dati d'ingresso del modulo M considerato, dove il comportamento di M in corrispondenza di $\forall t \in Di$ sia simile, ovvero i sottodomini sono classi di equivalenza, dove l'equivalenza è definita empiricamente

Principio della copertura completa
Selezionare un test set che contiene almeno un elemento per ciascun Di

Boundary value analysis (test di frontiera)

Selezionare un test set che, per ciascun sottodominio Di, contenga almeno un valore su ciascun versante della sua frontiera (verso un sottodominio contiguo e/o verso valori che non appartengono al dominio)

Questi test consentono di evidenziare omissioni di controlli (che non possono essere rilevati da test strutturali in quanto questi ultimi verificano solo i rami presenti, non quelli assenti) o mancato trattamento dei casi di frontiera (ad es. uso di > anziché ≥)

Suggerimento
Aggiungere dei casi di test che rappresentano configurazioni non valide dei dati in ingresso: la probabilità di malfunzionamenti è molto più alta per dati non validi che per dati validi

Esempio: specifiche di una procedura di ricerca

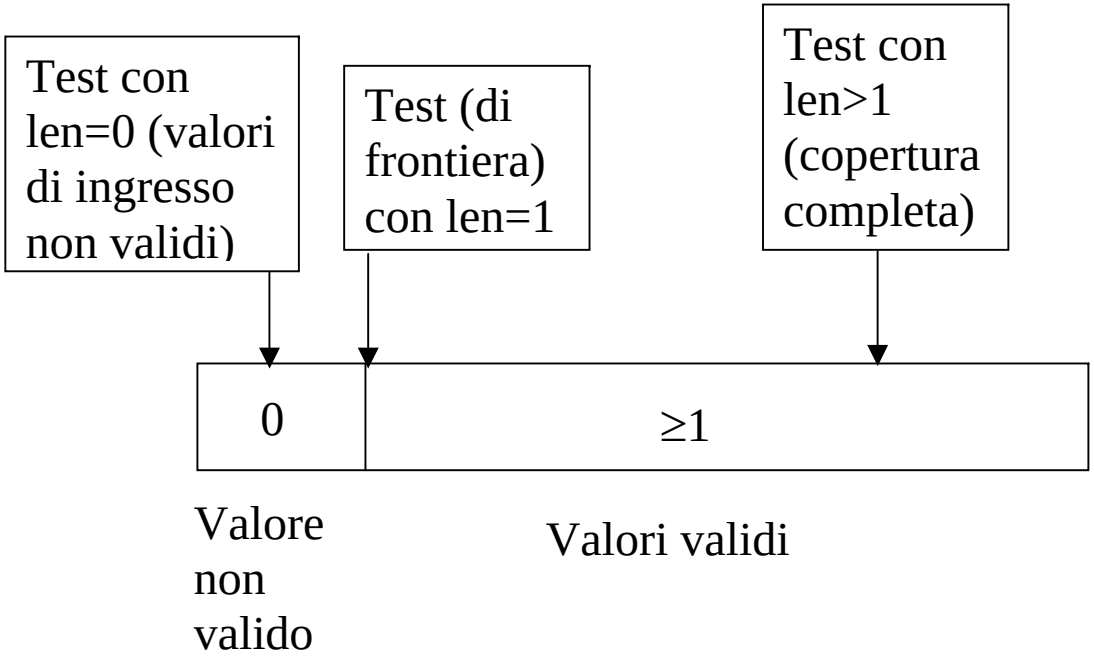
procedure Search (Key : **in** ELEM ; T: **in** ELEM_ARRAY;
Found : **out** BOOLEAN; L: **out** ELEM_INDEX) ;

Pre-condition
-- the array has at least one element
T'FIRST <= T'LAST
Post-condition
-- the element is found and is referenced by L
(Found **and** T (L) = Key)
or
-- the element is not in the array
(**not** Found **and**
not (**exists** i, T'FIRST <= i <= T'LAST, T (i) = Key))

Esempio: specifiche di una procedura di ricerca (cont.)

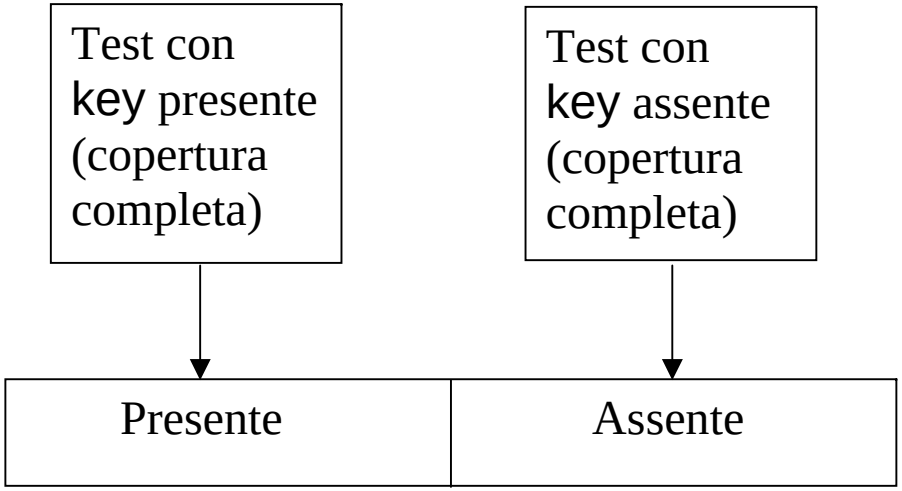
Partizione degli ingressi

Lunghezza dell'array T (len)



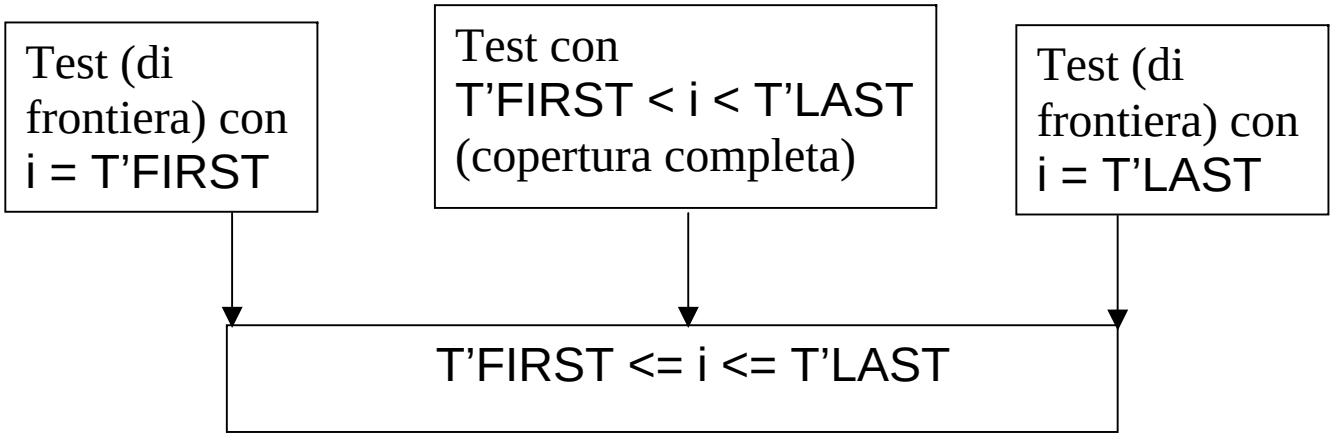
Esempio: specifiche di una procedura di ricerca (cont.)

Presenza dell'elemento key in T



Esempio: specifiche di una procedura di ricerca (cont.)

Posizione i dell'elemento key in T



Esempio: specifiche di una procedura di ricerca (cont.)

Combinazione dei test in un test set

1) Test con array vuoto
2) Test con array contenente un singolo elemento e chiave presente
3) Test con array contenente un singolo elemento e chiave assente
4) Test con array contenente più di un elemento e chiave presente nella prima posizione
5) Test con array contenente più di un elemento e chiave presente in una posizione intermedia
6) Test con array contenente più di un elemento e chiave presente nell'ultima posizione
7) Test con array contenente più di un elemento e chiave assente

Suggerimento: usare array di lunghezza diversa nei test dal 4 al 7

Testing guidato dalla sintassi

Data la sintassi degli ingressi, generare (automaticamente) un test set che copra ciascuna regola sintattica almeno una volta

Es. <expression> ::= <expression> + <term> | <expression> - <term> | <term>
<term> ::= <term> * <factor> | <term> / <factor> | <factor>
<factor> ::= ident | (<expression>)

Testing white box e black box: un confronto

Black box	**White box**
Dipende dalle specifiche	È basato sulla copertura del flusso di dati o di controllo
È scalabile	Non è scalabile
Non riesce a distinguere fra implementazioni diverse corrispondenti alla stessa specifica (ad es. ricerca sequenziale o binaria)	Non riesce a rivelare omissioni di cammini (parti delle specifiche che non sono state implementate)

Testing white box e black box: i suggerimenti di Sommerville

Dato un modulo:

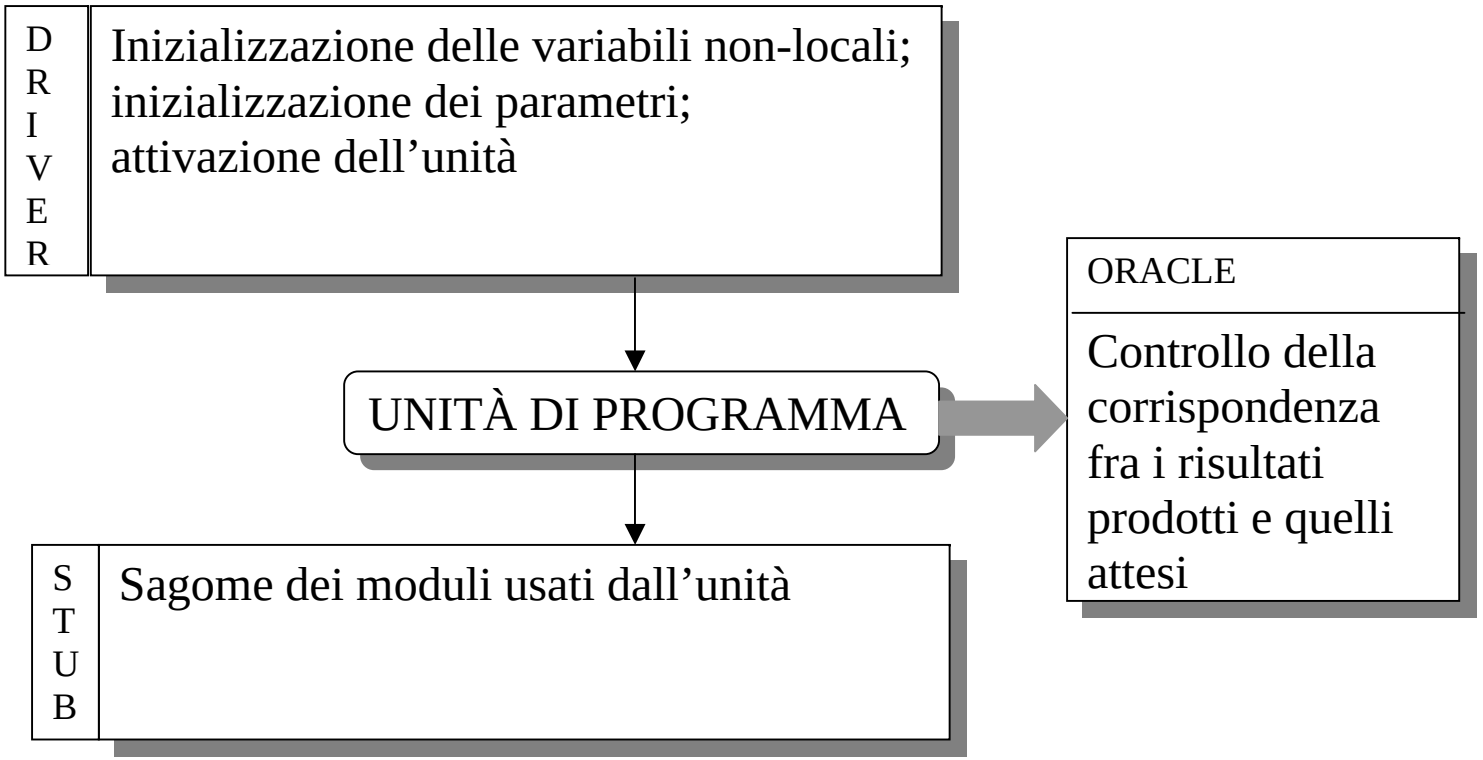
1) Eseguire prima il testing black box
2) Sfruttare la tecnica di equivalence partitioning (applicata ciecamente nel testing black box) per aggiungere nuovi casi di test alla luce della conoscenza del codice
3) Eseguire il testing white box (non esaustivo)

Un’impalcatura per il testing

Sorge il problema di creare un contesto automatico che, dato un test set di unità, sia in grado di

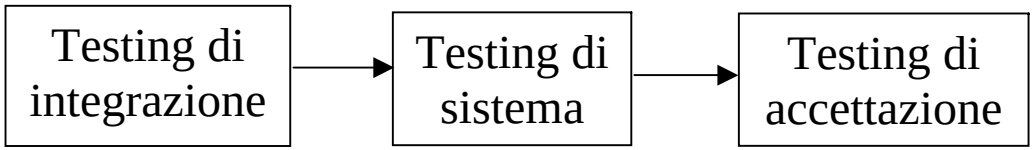
- eseguire separatamente l’unità da testare
- ispezionare i risultati di ciascun singolo test, rivelando gli eventuali malfunzionamenti
- memorizzare i risultati di ciascun singolo test

Un’impalcatura per il testing (cont.)



Attenzione: è difficile costruire un oracle, non esiste alcuna ricetta universale

Testing in grande



Ricordiamo che tutte queste attività di testing sono black box

Testing di integrazione

- Testing big bang: dopo che tutti i moduli sono stati testati isolatamente, essi vengono integrati tutti insieme e l'intero sistema viene sottoposto a test
- Testing incrementale: i moduli testati isolatamente sono integrati in maniera incrementale e il sistema incompleto viene testato più volte progressivamente usando stub e driver (eventualmente manuali) per sostituire i moduli mancanti

Strategie di testing incrementale

- Top – down: segue l'ordinamento parziale della gerarchia delle chiamate per decidere come procedere all'integrazione; sono necessari stub per i moduli mancanti; è appropriata per scoprire errori architetturali
- Bottom – up: segue in maniera inversa la gerarchia delle chiamate; richiede driver; è appropriata per sistemi OO
- Sandwich: il sistema viene diviso in due layer; il top layer è integrato in maniera top – down, il bottom layer in maniera bottom – up

Testing di sistema

Verifica quei requisiti (soprattutto non funzionali) che si applicano solo al sistema completo; può comprende (fra l'altro):

- Test di stress: test condotti in condizioni di carico (numero di utenti e/o dispositivi) limite (od oltre il limite $\rightarrow$ il sistema non dovrebbe mai collassare in modo catastrofico)
- Test di sicurezza: test mirati a controllare la riservatezza di servizi e informazioni e la capacità di resistere a tentativi di violazione (accidentali o intenzionali)
- Test di robustezza: test destinati a valutare il comportamento in presenza di dati non corretti
- Test di configurazione: test tesi a evidenziare se il sistema funziona correttamente in ogni configurazione (hw e sw) prevista
- Test temporali: essenziali per i sistemi in tempo reale
- Test di usabilità
- Testing statistico: teso a valutare l'affidabilità (probabilità di comportamento corretto) del sistema

Testing statistico

Comprende i seguenti passi:

- studio di sistemi esistenti (manuali o automatici) dello stesso tipo di quello corrente per stabilire un profilo operativo (o modello d'uso) che identifichi diverse classi (individui o gruppi) di dati d'ingresso del sistema e la probabilità di ciascuna di esse nell'uso normale del sistema
- costruzione (o con l'aiuto di un tool generatore di dati di test o per campionamento) di un test set che rispecchi la distribuzione di probabilità di tale profilo, così da replicare l'uso reale nell'ambiente di testing
- effettuazione degli (n) test e osservazione di un n° statisticamente rilevante (f) di malfunzionamenti
- calcolo dell'affidabilità (R) del sistema

  $$R = 1 - f/n$$

  e del tempo medio fra malfunzionamenti (MTBF, Mean Time Between Failure)

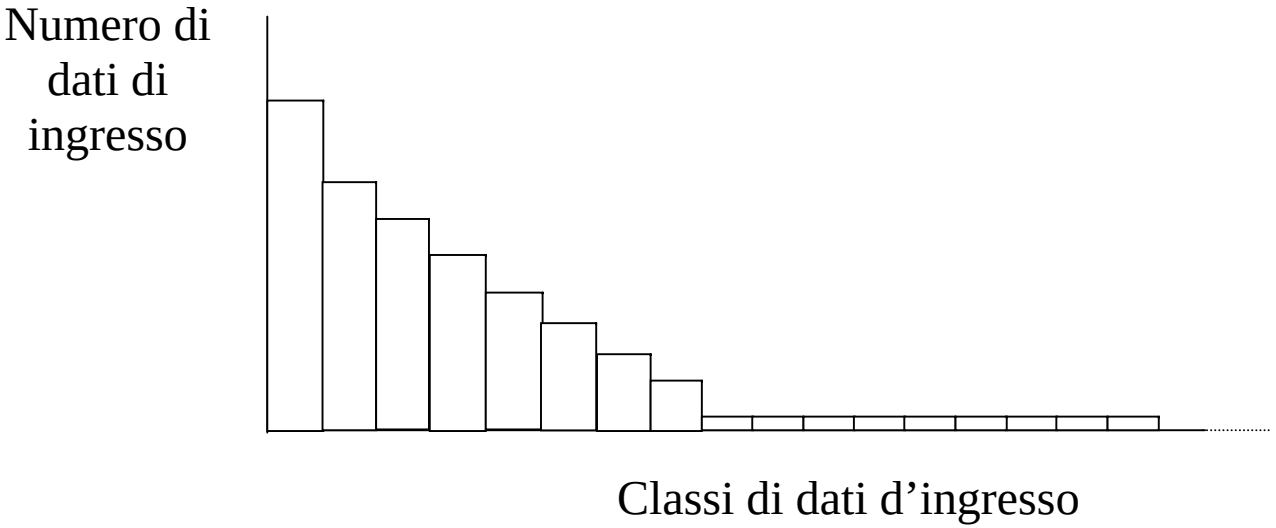
  $$MTBF = n/f$$

Testing statistico (cont.)

In pratica non è facile da applicare perché

- Il profilo operativo può essere inaccurato
- La generazione dei casi di test è lunga, laboriosa e, quindi, costosa se non condotta automaticamente (una generazione completamente automatica non sempre è possibile per sistemi interattivi)
- Per una stima attendibile dell'affidabilità è necessario evidenziare un numero statisticamente significativo di malfunzionamenti → paradosso: tanto più si è ridotto il n° di difetti del codice, tanto più è difficile misurare l'efficacia di tale riduzione (in altre parole, se nelle specifiche si è richiesta un'alta affidabilità, è proibitivo generare un n° sufficiente di malfunzionamenti per controllare l'aderenza a tale richiesta)

Profilo operativo



- Tipicamente gli input che hanno le più alte probabilità cadono in poche classi mentre sono moltissime le classi dove gli input sono improbabili ma non impossibili
- Quando un sistema sw è nuovo e innovativo il profilo è difficile da creare sia per l'assenza di dati storici, sia perché gli utenti spesso fanno uso dei sistemi in modi che chi li ha sviluppati o verificati non riesce a immaginare, sia perché le modalità d'uso evolvono nel tempo → è difficile stimare il grado di incertezza della misura di R

Testing di accettazione

Nel caso di prodotto su ordinazione

- può essere previsto dal contratto e il suo esito costituire pregiudiziale per il pagamento
- consente di evidenziare nuovi requisiti o di perfezionare requisiti espressi in maniera vaga o ambigua, per cui costituisce la base per lo sviluppo di una versione successiva del sistema
- consiste in test eseguiti dall'utente finale con dati reali; può trattarsi di
  - ✓ un test set speciale che consente di valutare le prestazioni del sistema (benchmark test): ciò avviene se il cliente ha requisiti particolari e ha commissionato lo stesso sistema a più gruppi → i benchmark test consentono di effettuare la scelta del prodotto da comperare
  - ✓ test che derivano dall'uso quotidiano del prodotto (test pilota) come se fosse installato permanentemente

Testing di accettazione (cont.)

Nel caso di prodotto da distribuire sul mercato, può essere suddiviso in:

- ✓ α - test: il sistema è rilasciato all'interno dell'organizzazione del produttore
- ✓ β - test : un sottogruppo di utenti viene selezionato per la valutazione del sw prodotto

Testing di regressione

Verifica che le funzionalità della versione precedente del sistema non siano state corrotte nella nuova versione; al fine di minimizzare lo sforzo:

- della versione precedente salvare
  - ✓l'impalcatura di testing (driver, stub e oracle)
  - ✓i test case
- della nuova versione
  - ✓mantenere traccia dei cambiamenti effettuati
  - ✓valutare l'impatto di questi cambiamenti

Testing di regressione (cont.)

Se il tempo allocato per questa operazione è limitato, solo una frazione del test set del sistema originale può essere eseguita, col rischio di tralasciare casi di test importanti → varie tecniche:

- Selezione dei test di regressione: si seleziona un sottoinsieme del test set esistente in base a info circa il programma, la versione modificata e il test set
- Minimizzazione del test set: si riduce il test set a un sottoinsieme minimo che mantiene la stessa copertura di quello primitivo rispetto a un criterio di copertura assegnato
- Ordinamento dei casi di test in base alla priorità: si introduce un ordinamento nell'esecuzione dei casi di test

Ordinamento dei casi di test in base alla priorità

Dati
T: un test set
PT: l'insieme delle permutazioni di T
f: PT $\rightarrow \Re$ (l'insieme dei n° reali) : una funzione obiettivo

Problema
Trovare una permutazione T'di T che massimizzi f,
cioè, trovare $T' \in PT \mid \forall T'' \in PT, f(T') \geq f(T'')$

Possibili obiettivi:

- aumentare la probabilità di rivelare i difetti precocemente
- soddisfare precocemente un criterio assegnato di copertura del codice
- aumentare la fiducia nell'affidabilità del sistema sotto test
- aumentare la probabilità di rivelare precocemente i difetti ad alto rischio
- rivelare precocemente i difetti correlati a cambiamenti di codice critici

Ordinamento dei casi di test in base alla priorità (cont.)

Se l'obiettivo è "soddisfare precocemente un criterio assegnato di copertura del codice", si può ricorrere a tecniche come le seguenti:

- Priorità di copertura totale di istruzioni (rami) - total statement (branch) coverage prioritization: i casi di test sono ordinati per numero descrescente di copertura di istruzioni (rami)
- Priorità di copertura aggiuntiva di istruzioni (rami) - additional statement (branch) coverage prioritization: vengono iterativamente selezionati i casi di test che presentano la maggiore copertura di istruzioni (rami) non ancora coperte/i da casi di test precedenti; quando si è ottenuta la copertura di tutte le istruzioni (rami), si ricomincia da capo, riazzerando la copertura corrente (tenendo conto, come sempre a ogni iterazione, solo dei casi di test rimanenti)

Ordinamento dei casi di test in base alla priorità (cont.)

Se l'obiettivo è "aumentare la probabilità di rivelare i difetti precocemente", dal momento che i malfunzionamenti da evidenziare sono sconosciuti, è impossibile determinare un ordinamento ottimo a priori → si ricorre a tecniche euristiche, quali:

- Priorità di FEP totale - total FEP prioritization: i casi di test sono ordinati per valore descrescente di FEP

Se l'obiettivo è " aumentare la fiducia nell'affidabilità del sistema sotto test" si può ricorrere alla tecnica euristica seguente:

- Priorità di FEP aggiuntivo - additional FEP prioritization: vengono iterativamente selezionati i casi di test che presentano il maggiore incremento di *confidence* (stima della probabilità che ciascuna istruzione del programma sia corretta)

Fault-Exposing-Potential (FEP) = capacità di un caso di test di evidenziare un malfunzionamento, stimata attraverso l'analisi mutazionale (mutation analysis)

Analisi mutazionale

Ha lo scopo di valutare la qualità di un test set in base alla capacità dello stesso di scoprire difetti artificiosi nel programma considerato

Mutante (mutant) = versione difettosa del programma, ottenuta alterando automaticamente le istruzioni dello stesso (ad es. cambiando il comando di una istruzione, oppure sostituendo un operatore, una variabile o una costante con altri in un'espressione)

Dato un programma P e un test set T, per la stima del valore di FEP si eseguono i seguenti passi:

- creazione di un insieme di mutanti per ciascuna istruzione s_j di P
- $\forall(t_i, s_j)$, $t_i \in T$, esecuzione di t_i su ciascun mutante e calcolo di $FEP(t_i, s_j)$ = frazione dei mutanti di s_j "uccisi" da t_i (nulla se t_i non esegue s_j)
- calcolo di $FEP(t_i) = \Sigma_j FEP(t_i, s_j)$

Testing a valle di un'analisi mutazionale

Terminata l'analisi mutazionale, viene eseguito il test set T su P. Il valore di *confidence* $C(s_j)$ di ogni istruzione s_j è inizializzato a zero e incrementato come segue dopo l'esecuzione di ogni caso di test che non evidenzi malfunzionamenti:

$$\Delta C(s_j) = (1 - C(s_j))\, FEP(t_i, s_j)$$

Nel caso si adotti la tecnica euristica "Priorità di FEP aggiuntivo", si ordinano i casi di test per valori decrescenti dell'incremento totale di *confidence* di ciascuno, pari a

$$\Delta C(t_i) = \Sigma_j \Delta C(s_j)$$

Pianificazione e gestione del testing

- Coordinamento delle persone coinvolte
- Scheduling, tenendo conto degli strumenti necessari e delle diverse sedi dove è svolta l'attività
- Specifiche circa la produzione (automatica) di documentazione

Documentazione di testing

- Deve essere oggetto di standardizzazione aziendale
- Il suo contenuto dipende da
  - ✓Caratteristiche dell'organizzazione (dimensioni, avvicendamento, ecc.)
  - ✓Tipo di sw (criticità, vita media, complessità, numero di versioni, ecc.)
- Deve comprendere almeno
  - ✓Documentazione dei test suite eseguiti
  - ✓Documentazione dei test case eseguiti

Documentazione di un test suite eseguito

- Sw testato
- Versione
- Obiettivo (verifica di requisiti e casi d’uso)
- Risultati globali + descrizione
- Autore + data

Documentazione di un test case eseguito

- Obiettivo
- Ambiente (driver, stub, oracle)
- Dati di ingresso
- Uscite attese
- Uscite effettive
- Risultato (Pass/Fail + descrizione)
- Osservazioni (gravità dell'eventuale malfunzionamento, ecc.)

Testing di componenti riusabili (COTS)

Il produttore può effettuare test strutturali di copertura, facendo delle ipotesi (documentate) sull'ambiente/i di utilizzo e usando driver generici

L'utente può effettuare solo test funzionali sulla base della documentazione allegata

Ispezioni del sw

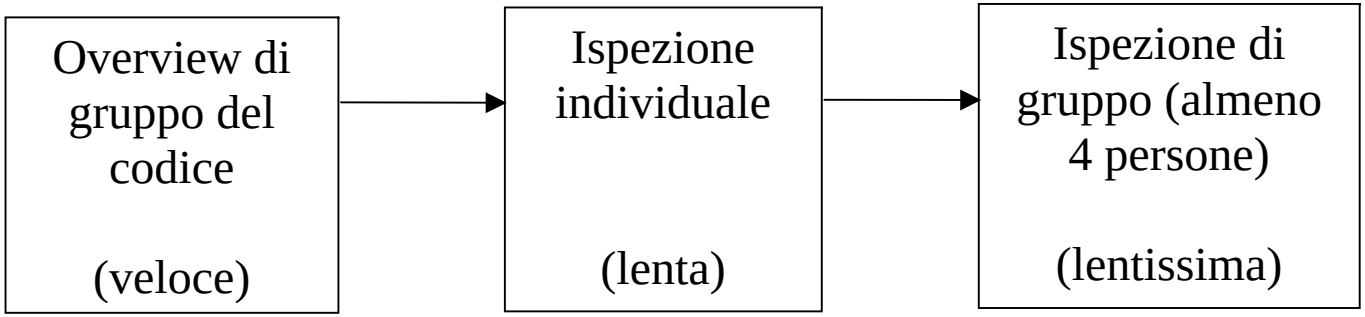
- È una tecnica completamente manuale ma estremamente efficace per scoprire difetti (67-85% di tutti i difetti rilevati)
- Può essere applicata nel corso del progetto a tutti gli artefatti, non solo al codice
- Si tratta di analizzare in modo sistematico l'artefatto andando a caccia di difetti catalogati (situazioni erronee o mancanza di conformità con gli standard)
- La checklist dei difetti sw in dotazione a ogni ispettore dipende dal linguaggio di programmazione considerato (tanto più è debole il type checking, tanto più lunga è lista; nel "Software Formal Inspections Guidebook" della NASA, datato 1993, al C sono dedicate 2,5 pagine mentre al FORTRAN ne sono dedicate 4)

Fault class	Inspection check
Data faults	Are all program variables initialized before their values are used? Have all constants been named? Should the lower bound of arrays be 0, 1, or something else? Should the upper bound of arrays be equal to the size of the array or size – 1? If character strings are used, is a delimiter explicitly assigned?
Control faults	For each conditional statement, is the condition correct? Is each loop certain to terminate? Are compound statements correctly bracketed? In case statements, are all possible cases accounted for?
Input/output faults	Are all input variables used? Are all output variables assigned a value before they are output?
Interface faults	Do all function and procedure calls have the correct number of parameters? Do formal and actual parameter types match? Are the parameters in the right order? If components access shared memory, do they have the same model of the shared memory structure?
Storage management faults	If a linked structure is modified, have all links been correctly reassigned? If dynamic storage is used, has space been allocated correctly? Is space explicitly de-allocated after it is no longer required?
Exception mngt faults	Have all possible error conditions been taken into account?

Checklist: l'esempio NASA

- Suddivisa in: Functionality, Data Usage, Control, Linkage, Computation, Maintenance, Clarity
- Es.:
  - ✓Does each module have a single function?
  - ✓Does the code match the Detailed Design?
  - ✓Are all constant names upper case?
  - ✓Are pointers not typecast (except assignment of NULL)?
  - ✓Are nested "INCLUDE" files avoided?
  - ✓Are non-standard usages isolated in subroutines and well documented?
  - ✓Are there sufficient comments to understand the code?

Ispezioni del codice secondo Fagan (IBM 1976, 1986)



- L'ispezione è un processo costoso
- L'ispezione di gruppo avviene alla presenza dell'autore, che può solo rispondere a domande, se interrogato
- I difetti trovati nelle ispezioni non devono concorrere al giudizio del programmatore ($\rightarrow$ il programmatore non è incentivato a nasconderli) mentre quelli trovati nel testing successivo sì
- Attenzione: durante le ispezioni si devono solo localizzare gli errori, non correggerli (un moderatore ha la responsabilità di fare osservare questa disposizione)

Walkthrough

Differiscono dalle ispezioni perché il codice e la documentazione di accompagnamento vengono pubblicamente presentati ed esaminati dall'autore stesso, che conduce e controlla la discussione, in un'atmosfera più informale

Ispezioni

- Vantaggi
  - ✓La checklist è specifica dell'azienda e viene aggiornata sulla base dei nuovi tipi di difetti riscontrati
  - ✓In un'unica passata si possono scoprire più difetti del codice (anche quelli che si maschererebbero reciprocamente applicando il testing)
  - ✓I difetti vengono localizzati
  - ✓Si applica anche a programmi incompleti
- Limitazioni
  - ✓Costi elevati
  - ✓La tecnica non è in grado di effettuare controlli basati su requisiti non funzionali
  - ✓La tecnica non è in grado di gestire l'evoluzione del sw