Ingegneria del Software

Metriche

Per gli argomenti qui svolti si faccia riferimento a:

- N.E. Fenton e S.L. Pfleeger "Software Metrics, a rigorous approach, second edition", PWS publishing company, 1997
- L. Buglione, "Misurare il software, seconda edizione" Franco Angeli, 2003

Misurazione

- *Metrologia*: scienza della misurazione
  - Il metro è stato definito nel 1889 (a Parigi c'è il metro campione)

- *Misurazione:* il processo di assegnazione di simboli, normalmente numeri, per rappresentare un attributo dell'entità di interesse, secondo regole definite

- Quattro elementi:
  - Entità: l'oggetto o l'evento su cui si indaga (un tavolo, un viaggio..)
  - Attributo: caratteristica dell'oggetto (altezza, durata, costo, ..)
  - Forma (della rappresentazione): l'altezza si misura in centimetri; gli indumenti con S (small) , M (medium), L (large), XL (extra large); la benzina con "normale", "super".
  - Regole: per arrivare a determinare il valore dell'attributo (in modo da rendere il processo ripetibile, non soggettivo)

Misurazione

- Spesso non si distingue tra entità e attributi:
  "Giorgio è più alto di Franco"
  Bisognerebbe dire "L'altezza di Giorgio è più grande dell'altezza di Franco"
  Non si misurano le cose: si misurano i loro attributi
- L'altezza di una persona si misura in cm, ma l'intelligenza come si misura? Del vino si può misurare la gradazione alcoolica, ma il suo sapore come si misura?
- L'accuratezza di una misura dipende dallo strumento e dalla forma della misura (cm, QI)
- Misura: quantificazione diretta (p.e.: misura dell'altezza)
- Calcolo: quantificazione indiretta (p.e.: misura dell'intelligenza)

- (di solito si parla di misure dirette/indirette)

Misura indiretta

- La misura indiretta presuppone che si facciano delle misure dirette e che si combinino per dare una quantificazione di un attributo non direttamente misurabile.
- Esempio: nel decathlon si misurano tempi e lunghezze; le misure vengono poi combinate e pesate in modo da dare luogo ad uno "score" che identifica il "miglior atleta"

"Rendere misurabile ciò che non è misurabile"

Misurare il software

- Tre entità su cui esercitare le misure: Processi, Prodotti, Risorse
- Attributi interni-esterni
- Misurare ai fini di: caratterizzare, valutare (lo stato), prevedere, migliorare

- *"non si può controllare ciò che non si può misurare"* (De Macro)

- Esempi:
  - Quanto costa un dato processo?
  - Qual è la produttività dei programmatori?
  - Quant'è "buono" il codice prodotto?
  - Quanti programmatori si richiedono?
  - Che tempo si prevede per lo sviluppo?
  - Sono tutti i requisiti testabili?

Metriche

- Si usa il termine “metrica” per indicare una misura diretta o indiretta di un qualche attributo di entità di interesse.
- Le metriche software si riferiscono ad attività di misurazione riguardanti:
  - Stima dei costi e dell’*effort*
  - Misure e modelli di produttività
  - Misure e modelli di qualità
  - Misure e modelli di affidabilità
  - Misure di complessità
  - Valutazione di metodi e software tools

Esempi

Attributo Interno	Misura	Attributo Esterno	Misura
■ CODICE			
Lunghezza	LOC	Usabilità	??
Complessità	N. ciclomatico	Manutenibilità	??
Funzionalità	Function Points	Portabilità	??
■ PROCESSO di sviluppo			
Tempo imp.	Mesi		
■ SOFTWARE			
Prezzo	Lire		
Dimensione	Mbyte	Affidabilità	MTTF

Misura di attributi interni: La dimensione

- La maniera più semplice consiste nel misurare il numero di linee di codice (LOC).
  - Facile da misurare (salvo mettersi d'accordo su ciò che si misura)
- Si ritiene che questa semplice misura sia insufficiente rispetto alla quantificazione di effort, produttività e costo.

  (l'altezza non permette di dire se una persona è anche in sovrappeso)

- Più attributi per definire la dimensione:
  - Lunghezza
  - Funzionalità
  - Complessità

Linee di codice

- E' la misura software più antica (anni settanta).
- Misurano la lunghezza
- Grande confusione: Occorre stabilire come si contano:
  - linee vuote
  - linee di commento
  - dichiarazioni e altri comandi
  - linee con più istruzioni
  - linee programmate o generate da tools
  - copiate da altra parte

$\frac{NCLOC}{LOC}$	Misura autodocumentaz.

- Di norma in LOC entrano tutte le linee di programma eccetto le linee vuote e le linee di commento

Inconvenienti delle linee di codice

- A seconda di come si calcolano si possono avere variazioni fino al 500% [Jones]
- Possono essere calcolate con accettabile accuratezza solo in fase molto avanzata del progetto. In fase iniziale ci vuole un "guru" del problema. Ovvero un numero molto ampio di casi pregressi da cui estrapolare
- I linguaggi di porgrammazione hanno differente espressività: uno statement C equivale a 5-10 (a volte più) linee Assembler.
- Come si contano i contributi delle librerie?
- Come si contano le linee generate dai tools. In particolare, le linee che compongono l'interfaccia grafica generate con il "drag e drop" di oggetti?

Nonostante questo sono la base per modelli più rifiniti (p.e., COCOMO)

- Spesso definizioni non identiche da modello a modello

La Software Science (Halstead)

- Metrica di carattere “teorico”. Ha avuto una certa notorietà (anni settanta). Ora è sostanzialmente abbandonata
- Si basa sul conteggio dei “token” che compaiono in un programma:

  $\mu 1$ = numero di operatori distinti

  $\mu 2$ = numero di operandi distinti

  N1 = numero totale di operatori

  N2 = numero totale di operandi

  Per esempio lo statement F = A(K) ha un operatore (=) e due operandi (F e A(K))
- Vengono definiti: volume, livello di difficoltà e altri parametri.
- Viene data una stime della lunghezza del programma, dello sforzo, etc.
- Ha degli aspetti di inconsistenza

FPA (Function Point Analysis)

- Introdotto da Allan Albrecht, IBM (1979)
- Misura le funzionalità di un programma e rilevabili dal punto di vista dell'utente finale.
  - L'aspetto fondamentale è questo: si guarda a "cosa" fa il programma, non a come è fatto.
  - Punto di vista dell'utente NON del progettista/sviluppatore
  - Le funzionalità si misurano sulle specifiche (sui requisiti) non sul codice
- I FP danno sono una misura della dimensione del programma
- E' abbastanza naturale passare dai Punti Funzione all'effort o alla dimensione in LOC.

- Ovviamente si tratta di un metodo empirico
- Usato ampiamente nel mondo dell'elaborazione dati (Non altrettanto adeguato nella programmazione OO)

FPA (Function Point Analysis)

- E' uno standard *de facto* e probabilmente sarà anche *de jure.*
- Usata in Sogei (Finsiel), Enel, Olivetti, Rai, Banca d'Italia
- Indicata dall'AIPA (Autorità Informatica nella Pubb. Amministrazione)
  - Nei documenti AIPA:

  "*quale metrica dimensionale per il software nei contratti di sviluppo e manutenzione" ,* AIPA, Indicazioni per il dimensionamento dei progetti per adeguamento dei sistemi informativi della PA all'EURO, Luglio 97

  "quale strumento per stabilire la congruità tecnico-economica del progetto"

  "l'Amministrazione svolgerà un'attività di monitoraggio e controllo dei punti funzione per consentire le attività di controllo e rendicontazione."

  Si ritiene *"opportuno che la valutazione dei costi relativi alla produzione, allo sviluppo ed alla manutenzione del software venga effettuata utilizzando la tecnica dei punti funzione"*

  Indirizzo AIPA: www.aipa.it

FPA

- Le iniziali linee guida di conteggio dei FP sono oggi standardizzate dall'associazione IFPUG (International Function Point Users Group) nel "Function Point Counting Practices Manual" (giunto alla Release 4.1)
- Gli elementi richiesti per il conteggio sono facilmente individuabili in qualsiasi fase del progetto. Il conteggio può essere effettuato:
  - nella fase di analisi
  - alla fine della fase di design
  - durante i processi di manutenzione del software
- Il metodo di stima attraverso i FP può essere usato:
  - per stimare la dimensione del sistema da sviluppare o già sviluppato e, in modo indiretto, per stimare il numero finale di ore/uomo necessarie a svilupparlo
  - Al fine della stima del costo occorre disporre di relazioni empiriche (di norma tabelle) tra FP e ore/uomo. Ogni produttore dovrebbe sviluppare le proprie sulla base di progetti pregressi. .

FPA

L'idea è che FPA soddisfi a questi requisiti:

- I FP devono essere indipendenti dalla tecnologia (linguaggi di programmazione, tools di sviluppo, ..)
- I FP devono misurare tutte le funzioni consegnate all'utente (la misura dei FP è la stessa anche se lo sviluppo è stato fatto con tecniche di economia sullo sforzo)
- I FP devono misurare solo le funzioni consegnate all'utente (non deve variare se i programmatori sono inesperti, i sistemi di sviluppo sono scadenti)

In sostanza si cerca una misura che sia legata solo alla funzionalità del software (ciò che vede l'utente).

Conteggio FP (IFPUG)

1. Si individuano e si conteggiano 5 differenti *function types* ottenendo gli UUFP (unadjusted unweighted FP)

   I ***function types*** sono:

   - **External Input** (EI): dati in ingresso (dall'utente o da altre applicazioni)
   - **External Output** (EO): dati restituiti in uscita
   - **External Inquiry** (EQ) interrogazioni che producono una risposta immediata del sistema (senza che il comportamento di questo sia alterato e nessun ILF modificato)

   - **Internal Logical File** (ILF): file logico di dati gestiti internamente dal sistema
   - **External Interface File** (EIF): file logico di dati riferiti o condivisi con altre applicazioni e contenuti nel confine di queste

   (il primo gruppo sono i "tipi transazione", il secondo i "tipi dati")

….. Conteggio FP (IFPUG)

- Si calcolano gli UFP (unadjusted function points) pesando i precedenti con un fattore di complessità, calcolato opportunamente per ciascun function type
- Il fattore di complessità è su una scala ordinale a 3 punti:
  - B (Bassa complessità)
  - M (Media complessità)
  - A (Alta complessità)
- Alla scala MBA corrispondono valori numerici (i pesi) per ciascun function type, come indicato nella tabella che segue
- Ciascun punto funzione identificato viene pesato sommato in UFP

In forma compatta si potrebbe scrivere:

$$UFP = \sum_{i=1}^{15} ((\#\ \text{elementi varietà i}) * peso_i)$$

Avendo portato a 15 (5 * 3) il numero delle varietà dei function types

COMPLESSITA' FUNZIONALE UPF

ILF	Bassa	7
	Media	10
	Alta	15
EIF	Bassa	5
	Media	7
	Alta	10
EI	Bassa	3
	Media	4
	Alta	6
EO	Bassa	4
	Media	5
	Alta	7
EQ	Bassa	3
	Media	4
	Alta	6

Esempio: supponiamo che siano stati individuati:

1 ILF, di complessità B

2 EIF, uno di complessità B e uno di complessità M

3 EI, di complessità B

3 EO, due di complessità B e uno di complessità A

0 EQ

si ha:

UFP= 1*7 + (1*5 + 1*7) + 3*3 + (2*4 + 1*7) = 43

Aggiustamento

- I function point (FP) si calcolato come:

$$\mathbf{FP = UFP * VAF}$$

- VAF: Value Adjustment Factor. Determinato in base a 14 *caratteristiche* di sistema, per le quali vale questa scala (F_i)
  - 0 Non presente, o di nessuna influenza
  - 1 Influenza secondaria o poco significativa
  - 2 Influenza moderata
  - 3 Influenza media
  - 4 Influenza significativa
  - 5 Influenza forte generalizzata
- Il VAF è calcolato sommando i singoli valori assegnati alle diverse caratteristiche e applicando la seguente formula:

$$\mathbf{VAF = 0{,}65 + 0{,}01} \sum_{i=1}^{14} \mathbf{F_i}$$

- VAF corregge UFP di un +/- 35%

Le 14 caratteristiche

1. **Comunicazione dati**.
2. **Distribuzione dell'elaborazione.**
3. **Prestazioni.**
4. **Utilizzo estensivo della configurazione**.
5. **Frequenza delle transazioni**.
6. **Inserimento dati interattivo**.
7. **Efficienza per l'utente finale**.
8. **Aggiornamento on line**.
9. **Complessità di elaborazione**.
10. **Riusabilità**.
11. **Facilità d'installazione**.
12. **Semplicità operativa**.
13. **Molteplicità di siti**.
14. **Facilità di modifica**.

Purtroppo la quantificazione sulla scala 0-5 è soggettiva

Come si individuano i *Function Types*

- Anzitutto occorre individuare il confine dell'applicazione

  Linea di divisione tra l'applicazione che si vuole misurare e le altre applicazioni o il dominio utente. Serve a individuare quali processi sono proprietari delle informazioni che verranno trattate durante il conteggio.

- IFPUG dà un certo numero di regole per identificare i function types.

- Esempio: regole per l'identificazione di ILF

  1. ILF è un gruppo di dati logico, identificabile dall'utente, che soddisfa determinati requisiti.
  2. Il gruppo di dati è mantenuto all'interno del confine dell'applicazione.
  3. Il gruppo di dati è modificato o mantenuto, attraverso un processo elementare dell'applicazione.
  4. Il gruppo di dati identificato non è stato contato come un EIF per l'applicazione.

Identificazione ILF

- Checklist di supporto all'identificazione di ILF.

- Sono da considerare ILF:
  - Un'entità logica di dati dal punto di vista utente.
  - Ogni file o tabella interna generata o gestita dall'applicazione.
  - Ogni file o tabella gestita dall'utente.

- Non sono da considerare ILF:
  - I file intermedi o di sort.
  - I file di cui l'utente non abbia visibilità.

Identificazione ElF

- le regole di identificazione di un ElF sono:
  1. ElF è un gruppo di dati logico, o identificabile dall'utente, che soddisfa determinati requisiti utente.
  2. Il gruppo di dati è referenziato dall'applicazione che si sta misurando ed è ad essa esterno.
  3. Il gruppo di dati non è mantenuto dall'applicazione che si sta misurando.
  4. Il gruppo di dati è contato come un ILF per un'altra applicazione.
  5. Il gruppo di dati identificato non è stato contato come un ILF per l'applicazione.

- Checklist di supporto all'identificazione di ElF.
- Sono da considerare ElF:
  - I files ricevuti da un'altra applicazione.
  - Gli archivi dei messaggi di help.
  - Gli archivi dei messaggi di errore.

Complessità ILF/EIF

Richiede il conteggio del numero di RET e di DET

- **Record Element Type** (RET): record non ricorsivo riconoscible dall'utente in ILF o EIF.
- **Data Element Type** (DET): campo riconoscibile all'utente (non ricorsivo).
- Il numero di RET si determina applicando le seguenti regole:
  - Conta un RET per ogni sottogruppo, di cui l'utente ha l'opzionalità o l'obbligo d'uso durante un processo elementare, di un ILF o EIF.
  - Se non si hanno sottogruppi, conta l'ILF o l'EIF come un RET.
- Il numero di DET si determina applicando le seguenti regole:
  - Conta un DET per ogni campo riconoscibile dall'utente e non ricorsivo.
  - Conta un DET per ogni campo utilizzato dall'utente per stabilire una relazione con un altro ILF o EIF (chiave esterna).
  - Quando due applicazioni modificano e/o si riferiscono ad uno stesso ILF/EIF, ma ognuna mantiene/riferisce separati DET, conta solamente i DET utilizzati da ogni applicazione per misurare l'ILF/EIF.

... Complessità ILF/EIF

- La quantificazione della complessità si fa in base alla tabella seguente:

	1..19 DET	***20..50 DET***	***51+ DET***
1 RET	Bassa	Bassa	Media
2..5 RET	Bassa	Media	Alta
5+ RET	Media	Alta	Alta

- Analoghi ragionamenti si applicano a EI, EO e EQ.

Critiche a FPA

- Metodologia pensata per IS. Non tiene conto del mondo OO, RT.
- Eccessiva semplificazione delle tipologie dei componenti: ad un sistema con oltre 100 DET viene attribuito il doppio dei punti di un componente con un solo DET.
- Pesi dei componenti discutibili (andrebbero aggiornati per tener conto dell'evoluzione - praticamente si è fermi all'epoca dell'introduzione)
- Intransitività dell'addizione: il conteggio per n piccoli progetti è superiore a quello di un singolo progetto che li comprenda tutti (a causa dell'inclusione degli ILF e EIF.
- Rischi di doppio conteggio
- Le caratteristiche delle applicazioni vengono giudicate soggettivamente; 14 caratteristiche possono risultare poche in certe situazioni.

- IFPUG sta affrontando alcuni di questi problemi

Variazioni sul tema

- Feature Points [Caper Janes]
  - introducono un ulteriore tipo di function type: l'algoritmo, e modificano il sistema di pesature
  - sono più adatti per il sistemi di tempo reale

- Mark II [Charles Symon]
  - tiene conto di fattori ambientali: esperienza, motivazione del personale, linguaggi di programmazione, strumenti di progetto
  - 20 caratteristiche (6 riguardanti l'interfaccia con altre applicazioni); diversa pesatura (0,005 anziché 0,01 nel calcolo di FP)

- Non c'è per queste tecniche un corpo sufficiente di dati sperimantali.

Relazione LOC - FP

- Ci sono in giro tabelle che danno LOC per FP, a seconda del linguaggio di programmazione.
- Jones [*] dà questa tabella:

Linguaggio	LOC/FP
Assembler	320
C	150
FORTRAN	106
Cobol	105
Pascal	91
Basic	64
Query languages	16
Speadsheet lang.	6

Sono dati nemmeno tanto vecchi (1995)

C'è anche una tabella con fattori di aggiustamento in funzione della complessità

[*] C.Jones "Applied Softwrae Measurement, Assuring productivity and quality", McGraw Hill, NY 1991

Language SLOC / UFP (COCOMO II)

Ada	71
APL	32
Assembly	320
Assembly (Macro)	213
ANSI/Quick/Turbo Basic	64
Basic - Compiled	91
Basic - Interpreted	128
C	128
C++	29
ANSI Cobol 85	91
Fortan 77	105
Forth	64
Jovial	105
Lisp	64
Modula 2	80
Pascal	91
Prolog	64
Report Generator	80
Spreadsheet	6

La tabella a fianco viene usata in COCOMO II (attenzione: Unadjusted!)

I FP vengono impiegati per

Valutare l'effort (il costo), il numero dei casi di test da effettuare, il numero dei difetti potenziali e l'effort.

In genere si tratta di formule del tipo $G = c\ FP$

oppure $G = c\ FP^{e}$

$casi\_di\_test = FP^{1,2}$

$difetti\_potenziali = FP^{1,5}$

Per il calcolo dell'effort conviene costruire relazioni empiriche basate sull'esperienza e sui progetti pregressi di una data organizzazione.

Misura di attributi interni: la complessità

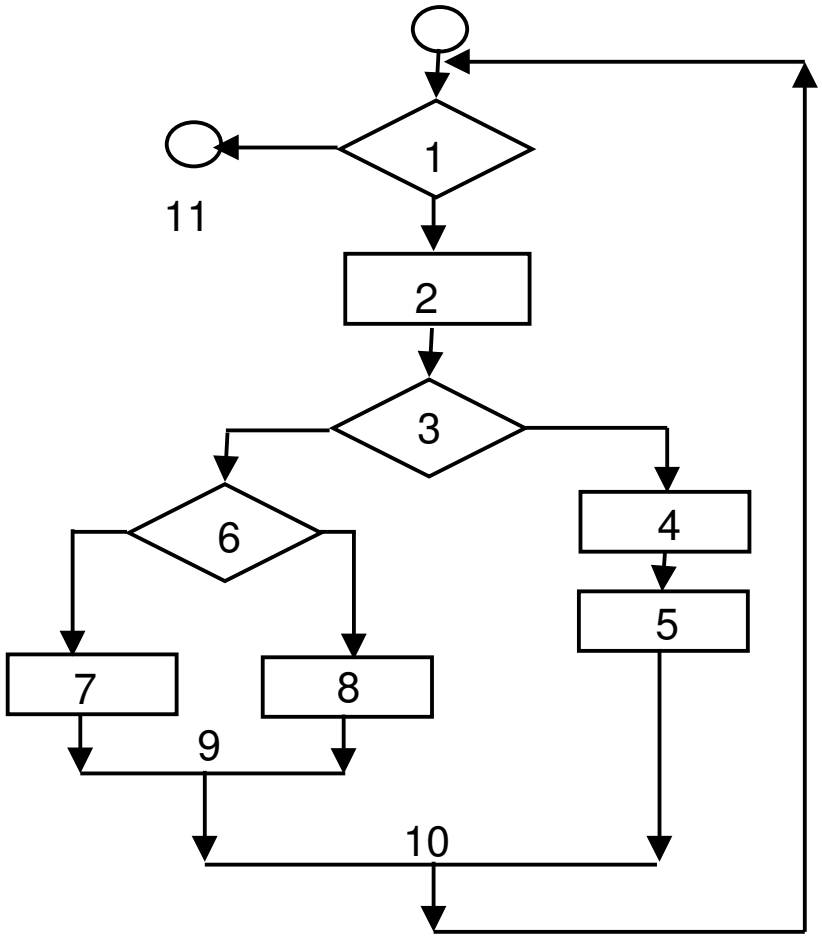
- La complessità è uno degli attributi interni che da più tempo vengono misurati
- La maniera usuale è attraverso il numero ciclomatico (o complessità ciclomatica) [McCabe]
- Per un programma con un grafo di flusso (*flowgraph*) G il numero ciclomatico è calcolato come

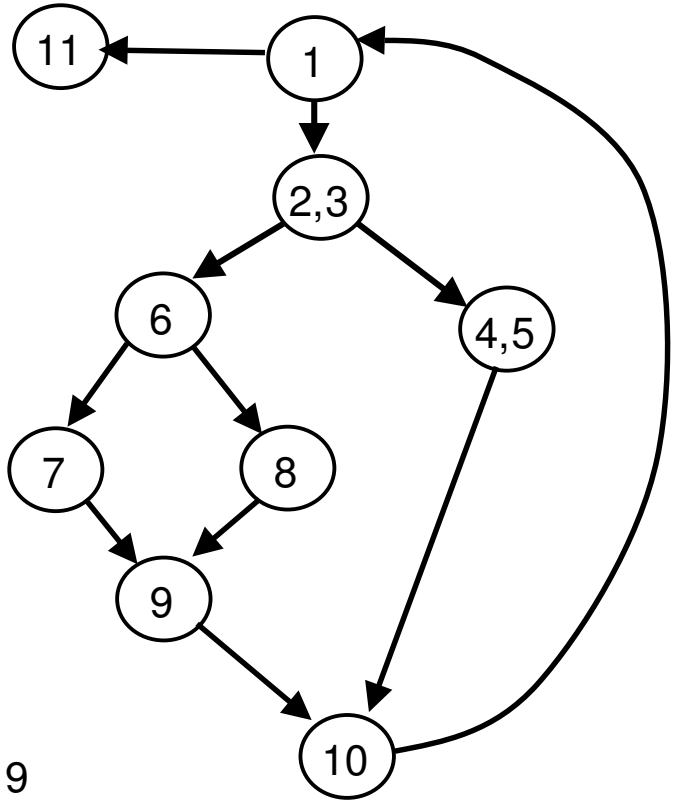
$$V(G) = a - n + 2$$

dove a: numero di archi, n: numero di nodi

- V(G) è il numero di percorsi indipendenti in G (G grafo connesso)

Grafo (di flusso) dal diagramma di flusso





a= 11, n= 9

V(G)= 11-9+ 2 = 4

Metodi di calcolo

- V(G) = n° decisioni + 1
  - if (exp) … else … — 1 decisione (2 rami)
  - switch (exp) { — 2 decisioni (3 rami)

    case 1: ..

    case 2:..

    default: ..

    }
- V(G) = n° regioni chiuse + 1

- Se il grafo non è connesso
  - V(G)= a - n + 2p dove p è il numero di sottografi connessi in G

Complessità ciclomatica

- Il numero ciclomatico [*] è ritenuto un indicatore di “qualità”.
- *Le leggende metropolitane dicono che un modulo non dovrebbe mai presentare una complessità ciclomatica superiore a 10.*

- Uno studio Hewlett-Packard su un sistema di 850 000 linee di FORTRAN (1994) ha mostrato una relazione tra il numero di modifiche apportate ai moduli e il loro numero ciclomatico. Dall’esame dei m oduli con più di 3 aggiornamenti, o studio concludeva indicando 15 come il massimo numero ciclomatico consentito
- Nella produzione del software per il tunnel sotto la Manica un modulo con un numero ciclomatico superiore a 20 veniva rifiutato (come pure se aveva più di 50 statement)

[*] McCabe T.J., “A complexity measure”, IEEE Trans on Softw Eng., Dic. 1976

Complessità - struttura

- Rilevante nel caso del testing strutturale (white-box testing)
- Criteri di copertura per decidere i casi di test.

- Statement coverage: ogni statement eseguito almeno una volta
- Edge coverage: ogni ramo del grafo deve essere percoroso almeno una volta (la complessità ciclomatica rappresenta il numero minimo di percorosi indipendenti nel programma ovvero il numero minimo di test che consente di percorrere tutti gli archi)
- Condition coverage: ogni ramo deve essere percoroso almeno una volta e tutti i possibili valori delle sottoespressioni costituenti le condizioni composte vengono valutati almeno una volta (if (c1&c2)..)

Struttura - Modularità

- Una misura intuitiva: la dimensione media del modulo
- Altri aspetti: profondità del grafo (della struttura del programma), rapporto n° rami/n° nodi.
- Accoppiamento
- Coesione

- Metriche OO:
  - WMC: Weighted Methods per class. Se la classe C ha i metodi M1, M2, .. Mn aventi complessità c1, c2 , ..cn, allora

$$WMC = \sum ci$$

  - Più decine di altre metriche (è in corso molta attività di ricerca), anche se spesso si osserva un eccessivo parcellizzazione, che rendere difficile collegare le molteplici metriche in un quadro sintetico e comprensivo.

Valutazione dei costi di un progetto

- Esistono vari modelli per la valutazione/previsione dei costi dello sviluppo software.
- Hanno a comune il fatto che essi calcolano il costo in base alla misura di attributi interni ed esterni. L'attributo fondamentale è la dimensione.
- Quasi tutti i modelli esprimono il costo in funzione della dimensione (LOC, FP, Volume (Halstead),.), mentre gli altri attributi entrano spesso come fattori correttivi.
- Si tratta di relazioni empiriche, validate attraverso il confronto con la realtà industriale. Relazioni in forma tabellare o in forma analitica.

- Nel seguito illustriamo COCOMO un modello per la previsione dei costi molto noto. Nella sua versione originale, impiega la dimensione (in LOC) come parametro fondamentale. Usa una serie di coefficienti e fattori correttivi che tengono conto di altri aspetti (p.e. la complessità)

COCOMO (Construcrive Cost Model)

- E' un metodo "composto": equazioni, parametri statistici, giudizi dell'esperto
- Risale al 1981 [*]. (Oggi è in uso la versione COCOMO II [+])

- Calcola lo sforzo E (mesi/persona) in funzione della dimensione S (migliaia di istruzioni sorgente consegnate).
- Il calcolo dello sforzo viene perfezionato attraverso un insieme di parametri detti *cost driver*
- Prevede il calcolo del tempo solare coerente, necessario per coprire lo sforzo stimato

[*] B. Boehm, Software Engineering Economics, Prentice Hall, 1981

[+] www.usc.

COCOMO

$$E = aS^{b}F$$

E: Sforzo (mesi/persona)

S: Dimensione (migliaia di linee di codice consegnate , KDSI)

a,b: costanti che variano a seconda del modello e in base alla modalità di sviluppo

F: fattore correttivo.

$$T = cE^{d}$$

T: tempo solare in mesi necessario allo sviluppo

c,d: costanti che variano a seconda del modello e in base alla modalità di sviluppo

.. COCOMO

- KDSI include tutte le istruzioni sorgente consegnate all'utente, *escludendo eventuali istruzioni usate appositamente per il debugging, testing, o altro supporto.*
- KDSI include le istruzioni relative al JCL, alla definizione della struttura dei dati. *Esclude tutte le linee di commento.*
- Sforzo e tempo solare coprono il periodo intercorrente dall'inizio dell'analisi del progetto (fine raccolta dei requisiti utente) fino alla fase di consegna del sistema.
- I valori calcolati comprendono le attività di *management* e la stesura della documentazione, *ma escludono i tempi di addestramento dell'utente, i tempi di installazione ed eventuale manutenzione.*
- La stima comprende tutti i costi diretti (programmatori, librerie, strum di supporto). *Sono esclusi i costi indiretti (costi segreteria, costi top management).*

.. COCOMO

- Il mese/persona corrisponde a 152 ore lavorative per 12 mesi, togliendo circa 35 giorni all'anno per ferie e malattie del personale

  (Notare che 152* 12 = 1824 è un numero più alto di quello standard italiano, circa 1500)
- Il modello assume che i requisiti del sistema non subiscano sostanziali variazioni durante lo sviluppo.

COCOMO, modelli

- Sono previsti 3 modelli a seconda del livello di dettaglio delle informazioni a disposizione e di quanto debba essere dettagliata la stima del progetto in esame:
  - Modello base
  - Modello intermedio
  - Modello dettagliato

- I coefficienti sono differenziati a seconda del modello e a seconda della modalità di sviluppo (*COCOMO mode*). Tre modalità:
  - Poco strutturata (*organic mode*)
  - Mediamente strutturata (*semidetached mode*)
  - Fortemente strutturata (*embedded mode*)

COCOMO, modalità

- La modalità viene identificata essenzialmente attraverso questi parametri:
  - Dimensione del progetto
  - Organizzazione operativa del gruppo di lavoro
  - Esperienza del gruppo di lavoro

- Modalità Organica:
  - progetti di dimensione medio-piccola
  - piccolo gruppo di lavoro
  - sviluppo prevalentemente sequenziale
  - approccio artigianale
  - ambiente tecnico-operativo molto stabile
  - esperienza del personale di sviluppo di livello medio-alto e specifica

...COCOMO, modalità

- Modalità mediamente strutturata:
  - progetti di dimensione media
  - gruppo di lavoro medio
  - sviluppo mediamente sequenziale
  - approccio mediamente industriale
  - ambiente tecnico-operativo mediamente stabile
  - esperienza del personale di sviluppo generica e di livello medio

- Modalità fortemente strutturata:
  - progetti di dimensione medio-grande
  - gruppo di lavoro grande
  - sviluppo prevalentemente in parallelo
  - approccio prevalentemente industriale
  - ambiente tecnico-operativo evolutivo e complesso
  - esperienza del personale diversificata e di livello medio

Fattori correttivi

- Il problema dei fattori correttivi nei modelli come questo è quello di evitare che diventino una pletora (alcuni studi precedenti identificavano oltre cento fattori correttivi).
- COCOMO prevede 15 fattori correttivi (Fi).
  - RELY: affidabilità richiesta
  - DATA: dimensione della base dati
  - CPLX: complessità del prodotto
  - TIME: vincoli nel tempo di esecuzione
  - STOR: vincoli nella memoria centrale
  - VIRT: instabilità della macchina virtuale
  - TURN: tempo medio di risposta macchina
  - ACAP: capacità degli analisti
  - AEXP esperienza del gruppo con il tipo di applicazione
  - PCAP: capacità programmatori
  - VEXP: esperienza del gruppo di lavoro sulla macchina virtuale
  - LEXP: esperienza sul linguaggio di programmazione
  - MODP: conoscenza tecniche moderne di programmazione
  - TOOL: utilizzo di tool di sviluppo
  - SCED: vincoli di tempificazione nello sviluppo

COCOMO base

- Non tiene conto dei fattori correttivi. Da usare come modello di approccio, quando sono poco chiare le caratteristiche del processo

- Modalità poco strutturata

$$E = 2{,}4\ S^{1.05} \qquad T = 2{,}5E^{0{,}38}$$

- Modalità mediamente strutturata

$$E = 3{,}0\ S^{1.12} \qquad T = 2{,}5E^{0{,}35}$$

- Modalità fortamente strutturata

$$E = 3{,}6\ S^{1.20} \qquad T = 2{,}5E^{0{,}32}$$

COCOMO intermedio

- Modello più usato; tiene conto di tutti i fattori correttivi, senza che si debba avere il dettaglio di come questi pesino nelle varie fasi di sviluppo.

- Modalità poco strutturata

$$E = 3{,}2\ S^{1.05}\ F \qquad T = 2{,}5E^{0{,}38}$$

- Modalità mediamente strutturata

$$E = 3{,}0\ S^{1.12}\ F \qquad T = 2{,}5E^{0{,}35}$$

- Modalità fortemente strutturata

$$E = 2{,}8\ S^{1.20}\ F \qquad T = 2{,}5E^{0{,}32}$$

- La differenza con il caso precedente sta nel fattore correttivo F (oltre che nel coefficiente a)

.. COCOMO intermedio

- F viene calcolato come $F = \prod_{i=1}^{15} Fi$

- I 15 fattori correttivi Fi sono costanti per tutte le fasi di sviluppo. Essi vengono presi da questa tabella (si riportano i primi 5)

cost driver	**m.basso**	**basso**	**nominale**	**alto**	**m.alto**	**altissimo**
RELY	0,75	0,88	1,00	1,15	1,40	
DATA		0,94	1,00	1,06	1,16	
CPLX	0,70	0,85	1,00	1,15	1,30	1,65
TIME			1,00	1,11	1,30	1,66
STOR			1,00	1,06	1,21	1,56
…….……..	….	….	1,00	….	….	….

COCOMO dettagliato

- Si differenzia dal precedente perché la tabella dei fattori di correzione viene data per ciascuna fase (analisi, progetto, codifica, testing)
- Distingue tra
  - livello di sistema/sottosistema
  - livello di modulo
- Per il livello sistema/sottosistema vengono impiegati i 15 fattori correttivi per ciascuna fase
- Per il livello di modulo vengono impiegati solo 4 fattori correttivi, distinti per fase (CPLX, PCAP, VEXP, LEXP).

- I coefficienti a, b, c, d che compaiono nelle espressioni di E e T per le tre modalità sono identici a quelli del modello intermedio.

Osservazione

- In una relazione del tipo $E = A\,S^B$ il coefficiente B indica se ci sono economie/diseconomie di scala
  - $B < 1$ Economie di scala
  - $B = 1$ Parità
  - $B > 1$ Diseconomie

- Notare che in tutte le espressioni di E date in precedenza si ha $B > 1$.
  - I modelli COCOMO non prevedono mai economie di scala.
  - Passando da modalità di sviluppo "poco strutturato" a "fortemente strutturato" aumentano le diseconomie di scala.
  - ➡ Evidentemente la dimensione e la complessità del progetto giocano a sfavore delle economie di scala.

Nella normale produzione manifatturiera l'economia di scala è un dato assodato (un barattolo di fagioli da 1Kg costa meno del doppio di due barattoli da 1/2 Kg)

Come si impiega il COCOMO

- Si stima sulla base di indicazioni teoriche/empiriche/statistiche la dimensione del progetto in KDSI
- Si stabilisce la modalità secondo cui si pensa di sviluppare il sistema (*organic, semidetached, embedded*)
- Si sceglie il modello più adeguato (*base, intermedio, dettagliato*) in base alle conoscenze circa il progetto
- Si calcola E (mesi/uomo) e T (tempo solare) in base alle scelte fatte.

- Nota: Boehm ha identificato i valori dei vari coefficienti in base allo studio di 63 progetti. Essi erano suddivisi per dimensione (in KDSI) nel modo seguente:

  Piccoli: fino a 2 Intermedi: 8

  Medi: 32 Grandi:128

  Molto grandi: 512 e oltre

COCOMO II

- E' un'evoluzione del modello precedente, ma tiene conto dello stato attuale delle tecnologie
- Obiettivi:
  - To develop a software cost and schedule estimation model tuned to the life cycle practices of the 1990's and 2000's.
  - To develop software cost database and tool support capabilities for continuous model improvement.
  - To provide a quantitative analytic framework, and set of tools and techniques for evaluating the effects of software technology improvements on software life cycle costs and schedules.

- Può essere scaricato da WWW.USC.EDU oppure ftp://ftp.usc.edu/pub/soft_engineering/COCOMOII/

…COCOMO II

- Comprende tre "stadi" (stages)
  - Stadio 1: stima dell'effort di prototipizzazione o di composizione di applicazioni
  - Stadio 2: stima dell'effort durante lo stadio iniziale del progetto (early stage), quando di esso si sa poco e i fattori di costo sono molto incerti
  - Stadio 3: stima ad architettura definita (post architecture stage), quando il progetto è ben definito

- Da un punto di vista concettuale non è dissimile dal modello originario. E' molto più dettagliato.
- Conviene usare un tool che lo implementi
- La differenza tra *embedded, semidetached* e *embedded* è catturata da una delle tante tabelle fornite

…COCOMO II

- Lo sforzo si calcola sempre secondo questa formula

$$PM_{nominal} = A \times (Size)^{B}$$

PM: Mesi uomo

$$B = 0.91 + 0.01 \times \sum W_i$$

5 termini nella somma. Per ciascuno di essi c'è almeno una tabella per la sua quantificazione (*)

- La costante A vale 2.45

- PM nominale viene poi aggiustata con 7 fattori nel modello Early Design model e con 17 nel modello Post-Architectural model.

(*) uno dei fattori che compaiono nella somma è PMAT *(Process maturity)* valutato secondo la scala CMM (veder più avanti)

...COCOMO II ... Aggiustamento PM

- Early Design Model $$PM_{adjusted} = PM_{nominal} \times \left(\prod_{i=1}^{7} EM_i \right)$$
- Post-Architectural $$PM_{adjusted} = PM_{nominal} \times \left(\prod_{i=1}^{17} EM_i \right)$$

EM: Effort Multiplier

- In realtà PM nominale è più complesso da calcolare nel modello Post-Architectural. Si tiene conto del riuso, della percentuale di codice buttato via a causa della volatilità dei requisiti e di altro...

...COCOMO II ...il modello Post-Architecture

$$PM = \prod_{i=1}^{17} (EM_i) \cdot A \cdot \left[\left(1 + \frac{\text{BRAK}}{100}\right) \cdot \text{Size}\right]^{\left(0.91 + 0.01 \sum_{j=1}^{5} SF_j\right)} + \left(\frac{\text{ASLOC} \cdot \left(\frac{AT}{100}\right)}{ATPROD}\right)$$

where

$$\text{Size} = \text{KNSLOC} + \left[\text{KASLOC} \cdot \left(\frac{100 - AT}{100}\right) \cdot \frac{(AA + SU + 0.4 \cdot DM + 0.3 \cdot CM + 0.3 \cdot IM)}{100}\right]$$

$$B = 0.91 + 0.01 \sum_{j=1}^{5} SF$$

$$TDEV = \left[3.0 \times (\overline{PM})^{(0.33 + 0.2 \times (B - 1.01))}\right] \times \frac{\text{SCED\%}}{100}$$

...COCOMO II ...Significato di alcuni parametri

ADAPT	Percentage of components adapted (represents the effort required in understanding software)
AT	Percentage of components that are automatically translated
ATPROD	Automatic translation productivity
BRAK	Breakage: Percentage of code thrown away due to requirements volatility
CM	Percentage of code modified
EM	Effort Multipliers: RELY, DATA, CPLX, RUSE, DOCU, TIME, STOR, PVOL, ACAP, PCAP, PCON, AEXP, PEXP, LTEX, TOOL, SITE
IM	Percentage of integration and test modified
KASLOC	Size of the adapted component expressed in thousands of adapted source lines of code
KNSLOC	Size of component expressed in thousands of new source lines of code
SF	Scale Factors: PREC, FLEX, RESL, TEAM, PMAT

…COCOMO II …. Valutazione della dimensione

- Tramite SLOC e tramite FP

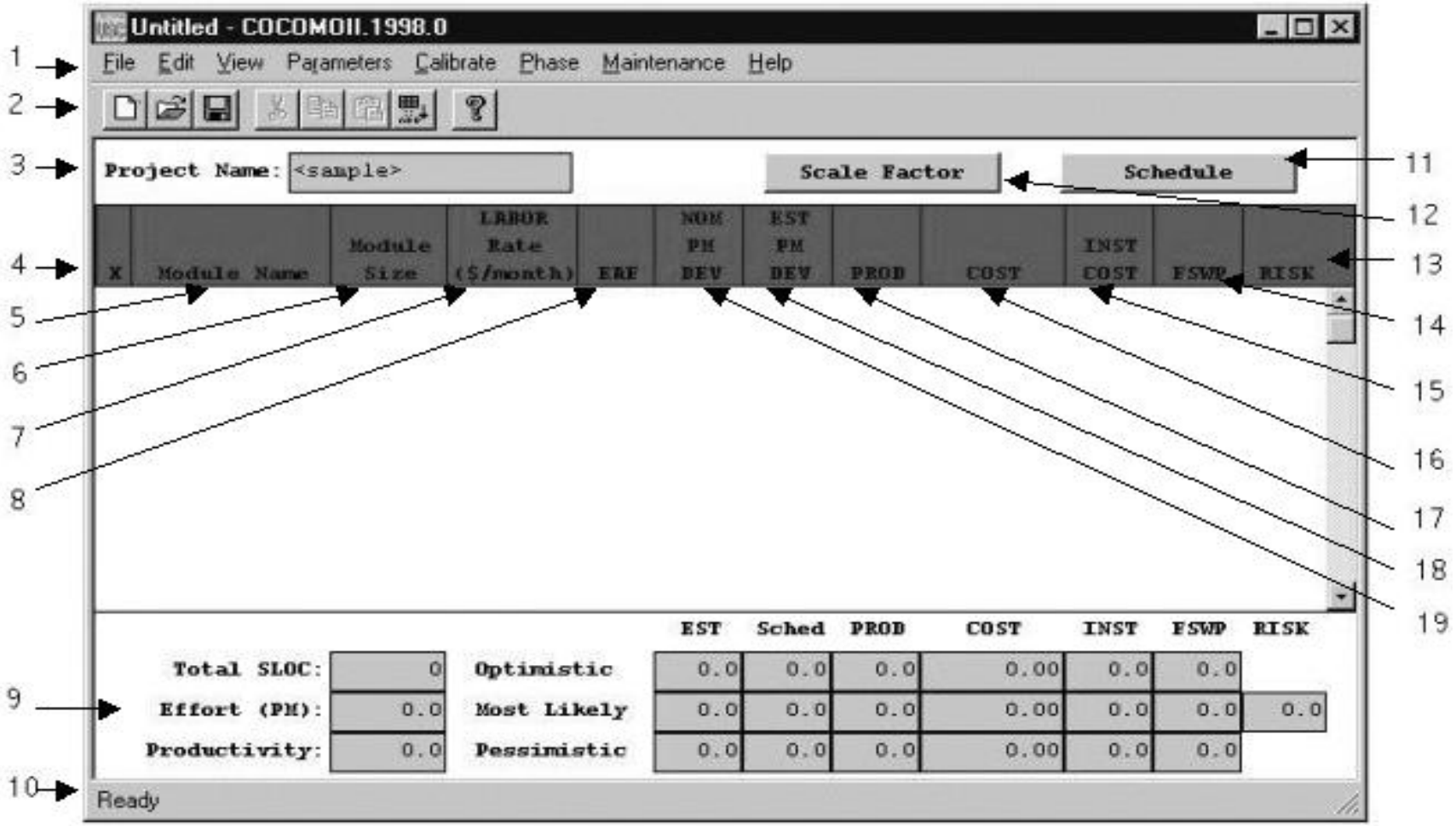
- SLOC: nel tentativo di dare una quantificazione che sia consistente per differenti linguaggi si misura le “linee logiche”, secondo uno schema definito dal Software Engineering Institute (SEI) [*].

- FP: Calcolati secondo lo schema IFPUG. I FP vengono quindi trasformati in (migliaia di) linee di codice in base a tabelle come quelle mostrate in precedenza che esprimono la relazione tra SLOC e FP

- Ovviamente i FP sono molto indicati per le fasi iniziali del progetto

[*] Park R. (1992), "Software Size Measurement: A Framework for Counting Source Statements," CMU/SEI-92-TR-20, Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA.

Come si presenta il tool



Misura di attributi esterni

- Obiettivo: migliorare la qualità

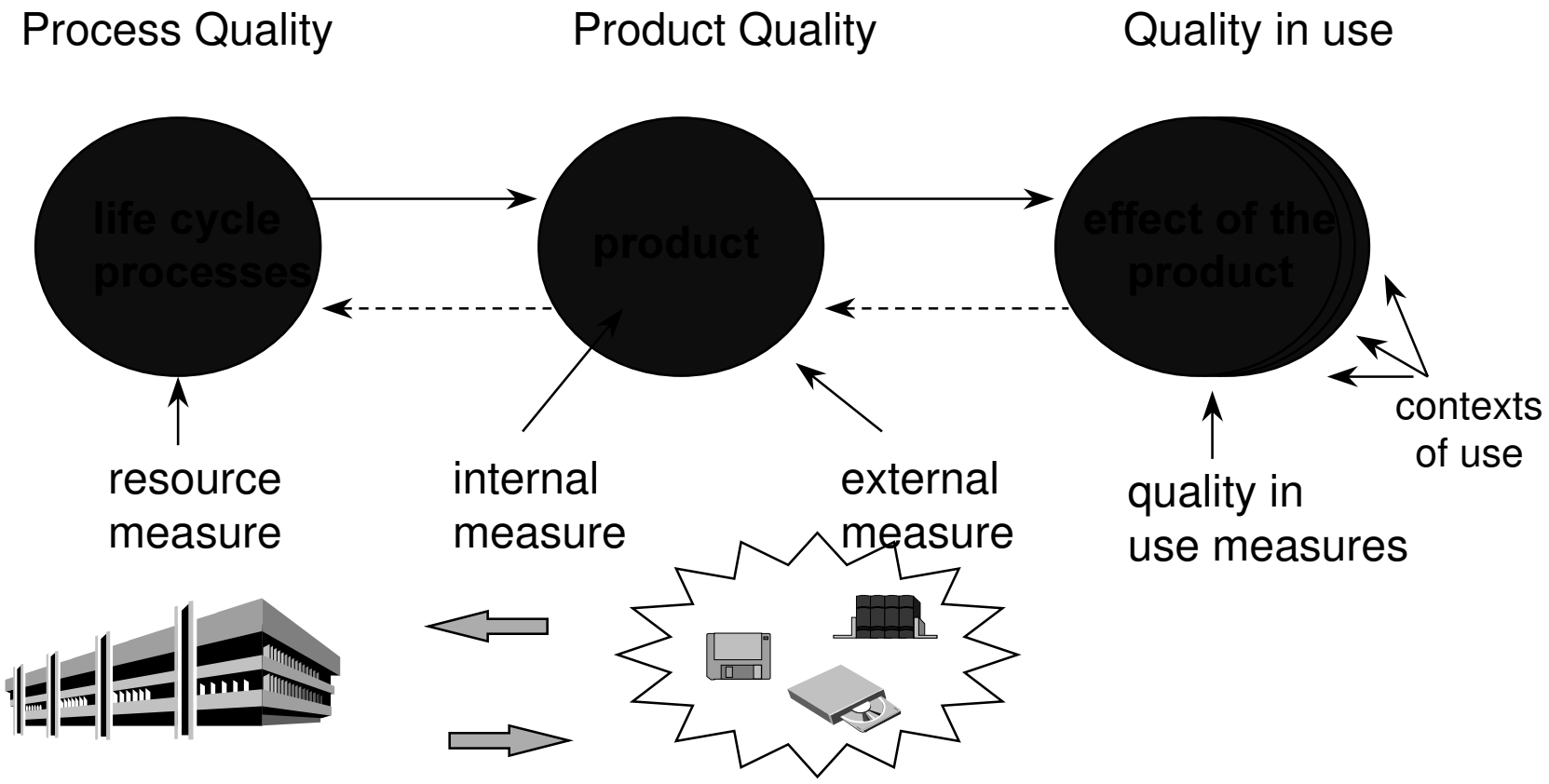
Qualità: Adeguatezza all'uso

ISO 8402 (glossario):

> "The totality of the features and characteristics of a product or service that bear on its ability to satify stated or implied needs"

- Occorre identificare degli attributi del prodotto software di interesse per l'utilizzatore.
- E' ovvio che se non si trova una standardizzazione si possono costruire infiniti modelli di qualità (la scelta degli attributi)
- La standardizzazione è venuta nel 1992 con le ISO 9126 (adottano la definizione ISO 8402)

La qualità nel ciclo di vita

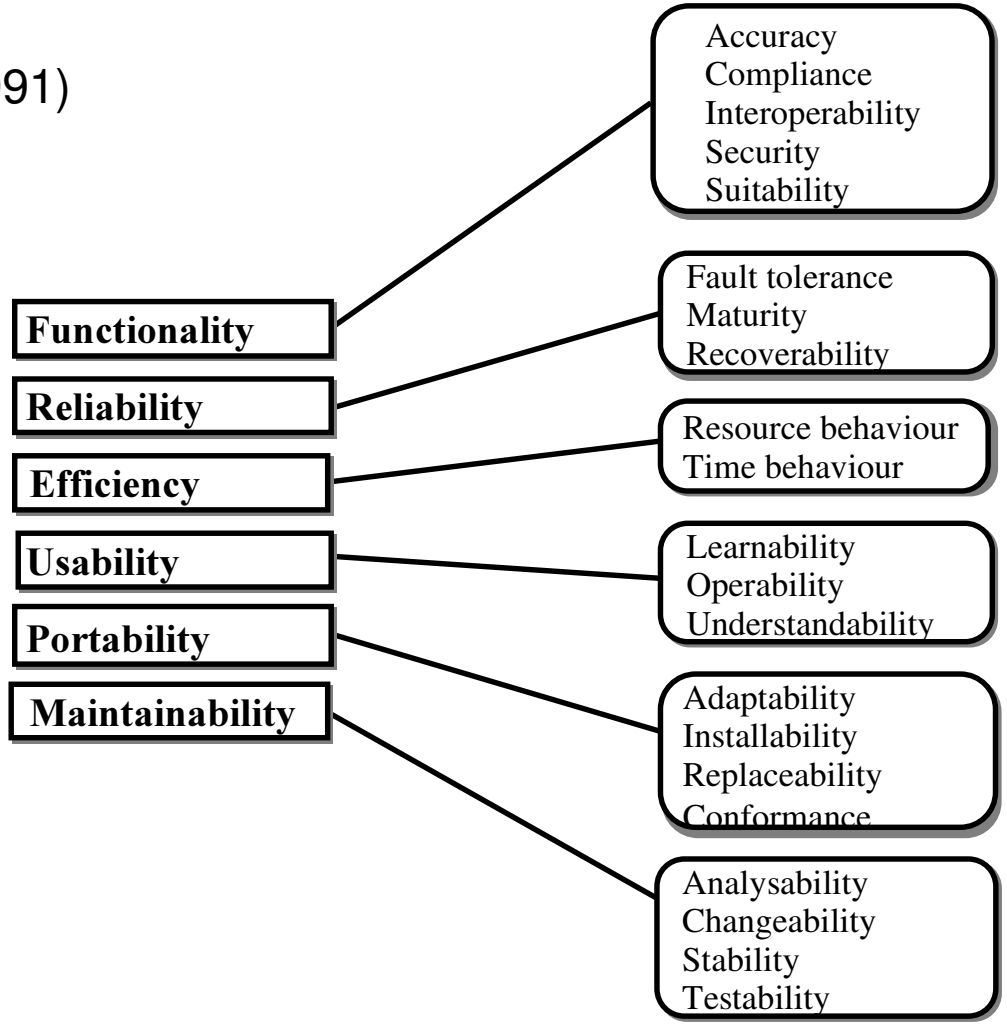


Qualità di prodotto

- ISO 9126 "Information Technology - Software Product Evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use"
- Definisce 7 caratteristiche di qualità e 21 subcaratteristiche
- E' l'attuale standard di riferimento per la valutazione dei prodotti software.
- Comprende:
  - un modello per la definizione delle caratteristiche di qualita' del software;
  - il modello e' proposto come base per successivi raffinamenti per la descrizione della qualita' del software;
  - una linea guida per la valutazione delle caratteristiche di qualita' di un prodotto software.

Caratteristiche e sottocaratteristiche

- ISO 9129 (1991)



Caratteristiche 9126

- Functionality - Funzionalità
  - Insieme di attributi che sono in relazione con l'esistenza di un insieme di funzioni e di loro specifiche proprietà. Le funzioni sono quelle che soddisfano esigenze espresse (requisiti) o implicite.
- Reliability - Affidabilità
  - Insieme di attributi che sono in relazione con la capacità del software di mantenere il suo livello di prestazioni in determinate condizioni e per un determinato periodo di tempo.
- Usability - Usabilità
  - Insieme di attributi che sono in relazione con lo sforzo richiesto per usare (il prodotto software) da parte di un determinato insieme di utenti.
- Efficiency - Efficienza
  - Insieme di attributi che sono in relazione con il livello di prestazioni del software e la quantità di risorse usate, in determinate condizioni.
- Maintainability - Manutenibilità
  - Insieme di attributi che sono in relazione con lo sforzo richiesto per apportare determinate modifiche.
- Portability - Portabilità
  - Insieme di attributi che sono in relazione con la possibilità di un software di essere trasferito da un ambiente ad un altro.

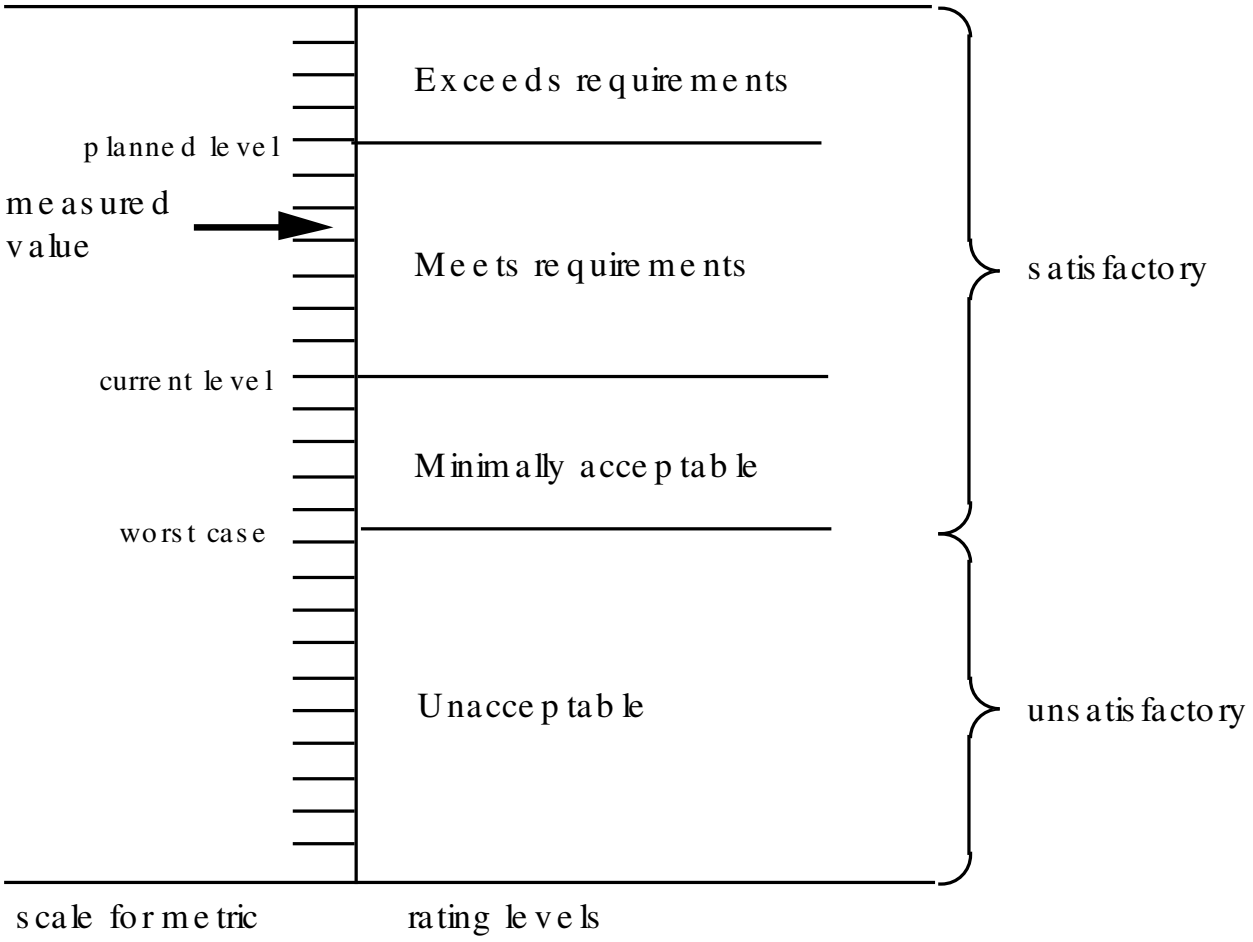
Funzionalità: sottocaratteristiche

- Aderenza - Compliance
  - Attributo del software che rende il software aderente a norme, convenzioni, leggi o prescrizioni similari.
- Accuratezza - Accuracy
  - Attributo del software che riguarda la sua capacità di fornire risultati (o effetti) giusti o accettati.
- Adeguatezza - Suitability
  - Attributo del software che riguarda la presenza e l'appropiatezza di un set di funzioni.
- Interoperabilità - Interoperability
  - Attributo del software che riguarda la sua capacità di interagire con altri sistemi.
- Sicurezza - Security
  - Attributo del software che riguarda la sua capacità di prevenire accessi non autorizzati (accidentali o intenzionali) ai dati e ai programmi.

Usabilità: sottocatarreristiche

- Comprensibilità - Understandability
  - Attributo del software che riguarda lo sforzo necessario per comprendere la logica e le modalità d'uso del prodotto.
- Apprendibilità - Learnability
  - Attributo del software che riguarda lo sforzo per imparare ad utilizzare l'applicazione.
- Operabilità - Operability
  - Attributo del software che riguarda lo sforzo necessario ad utilizzare il prodotto e controllarne il funzionamento.

Definire un criterio di rating



Come si fa a misurare

- Gli attributi esterni dipendono sicuramente da quelli interni, ma la relazione tra di essi è praticamente non esprimibile
- Occorre identificare gli attributi esterni e trovare il modo di quantificarli; in certi casi si possono dare delle definizioni (abbastanza) rigorose. Per esempio

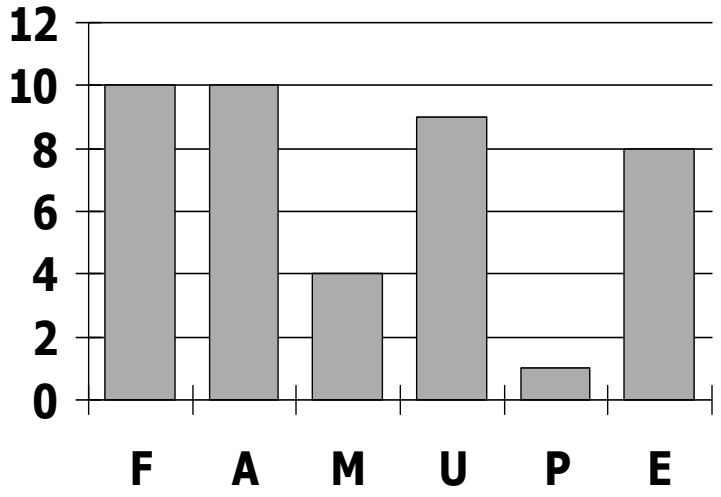
  $$\text{Portabilità} = 1 - CD/CS$$

  dove CS è il costo del software originale e CD quello necessario a partalo su un differente ambiente

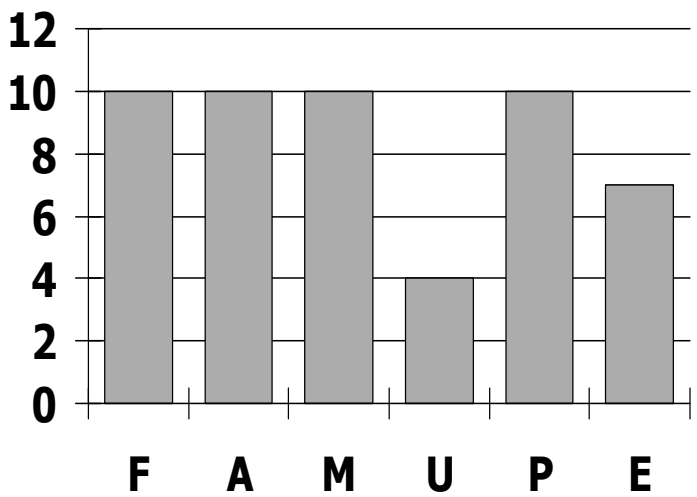
- Di norma occorre definire delle scale ad hoc, e assegnare dei valori su di esse (per esempio da 1 a 5) in base alle risposte a questionari
- L'obiettivo è definire un profilo di qualità atteso (PQA) da confrontare con un profilo di qualità misurato (PQM)

Profili di qualità

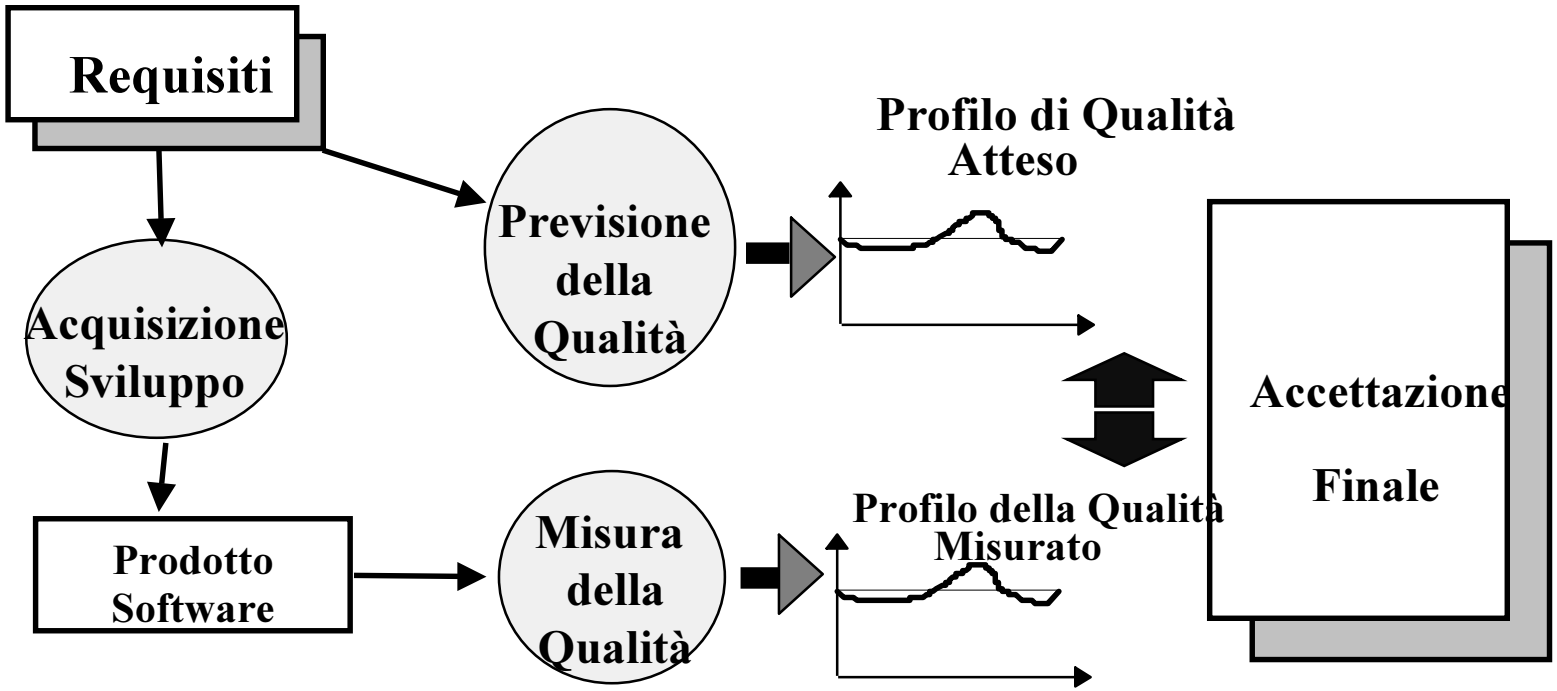
Atteso



Misurato



Accettazione del prodotto



Esempio di questionario (PQM)

		Soddisfazione			
N.	Domanda	Piena	G	M	N/A
_ITA'					
	Adeguatezza				
1	Esistono manuali di specifica e documentazione delle funzionalità ?				
2	Il livello di dettaglio dei documenti di specifica è congruente con la complessità delle funzioni ?				
3	I manuali utente riflettono le funzioni offerte ?				

	Accuratezza				
i	L'accuratezza del calcolo corrisponde a quanto specificato nei documenti di specifica ?				
i+1	L'utente incontra casi in cui il risultato di una operazione è diverso da quanto atteso ?				
i.2	Le tecniche numeriche adottate garantiscono la precisione richiesta ?				

	Interoperabilità				
k	Sono definite tutte le applicazioni con cui il sottosistema interagisce ?				

Standard di processo

- Il processo software è l'altra faccia della qualità del software
- La qualità è il risultato del processo di sviluppo (è l'assunzione di base dell'ingegneria del software. L'assunto è che un buon processo darà luogo a un buon prodotto.
- I processi di produzione sono ben stabiliti nel campo dell'ingegneria. La produzione di beni richiese sistemi di qualità (specialmente se si vuole competere sul mercato):
  - Organizzazione
  - Responsabilità
  - Procedure
  - Risorse

  } Sintetizzate nel manuale di qualità
- "Software engineering standards are heavy on process and light on product, while other engineering standards are the reverse"

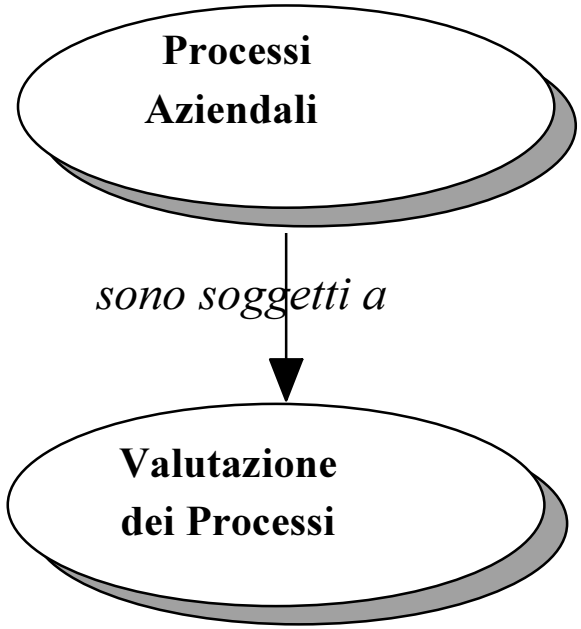
  [**Pfleeger, Fenton & Page, "Evaluation Software Eng. Standards", IEEE Computer , Sept. 1994]**

ISO 9000

- Standard di processo (non solo software). Si applicano in particolare al caso in cui un produttore deve mostrare la bontà del processo di produzione.
- ISO 9001 è lo standard generale per i processi (di qualunque natura). Esso richiede che l'organizzazione abbia un sistema di qualità documentato, un manuale di qualità che descriva le procedure aziendali.
- ISO 9003 è un ulteriore standard che fornisce le interpretazioni della 9001 nel contesto della produzione del software.
- Non è un modello di processo, ma di *Quality Assurance*
- Come è noto oggi è pratica comune leggere su etichette commerciali che "l'azienda è certificata ISO 9001". Va interpretato nel senso che l'azienda ha superato le verifica di certificazione rispetto alla standard
- NOTA: il certificatore non entra nel merito della bontà del prodotto. Si limita a verificare che il sistema di qualità aziendale sia formalmente coerente rispetto a quanto previsto dallo standard.

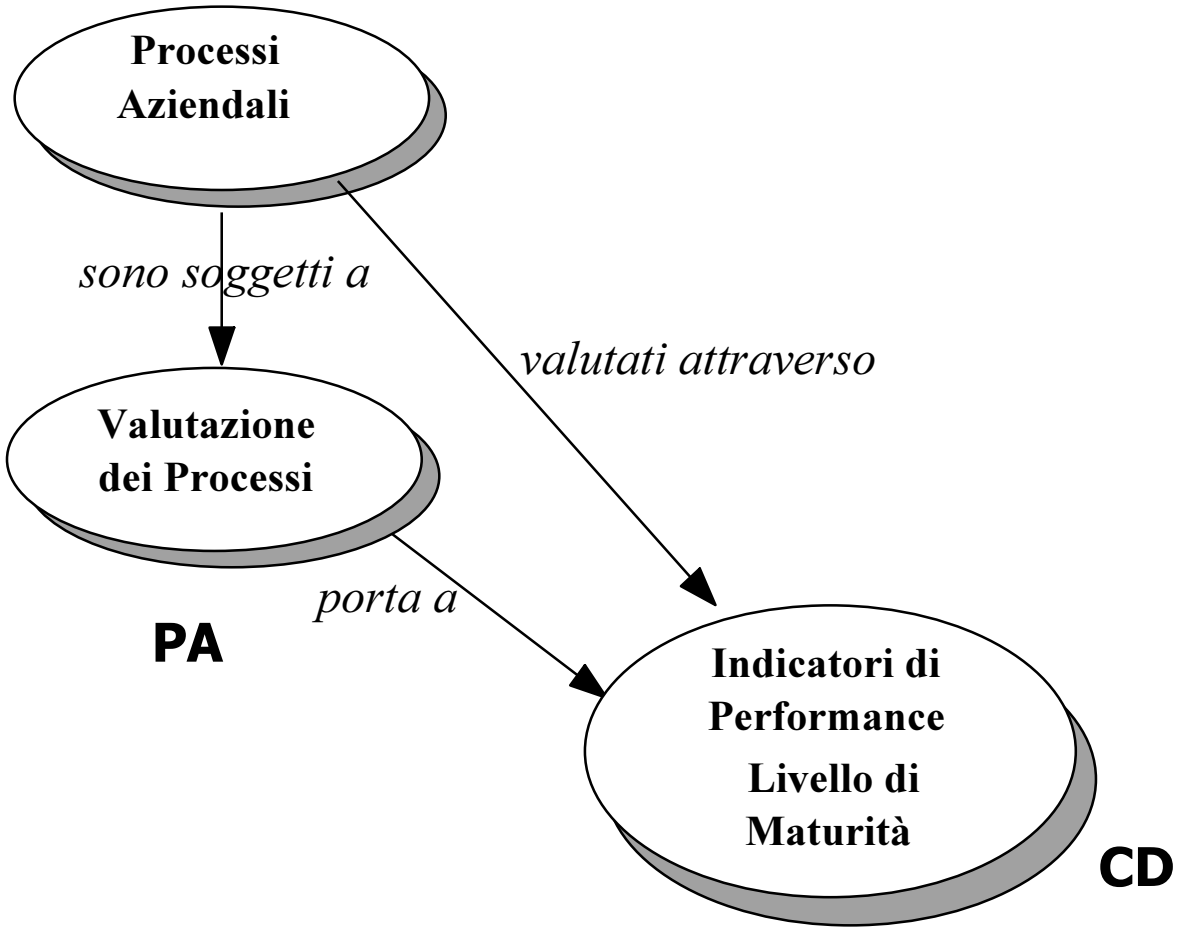
Assessment di processo (PA)

- Metodi e metriche per analizzare il processo di sviluppo ed evidenziare aree di miglioramento

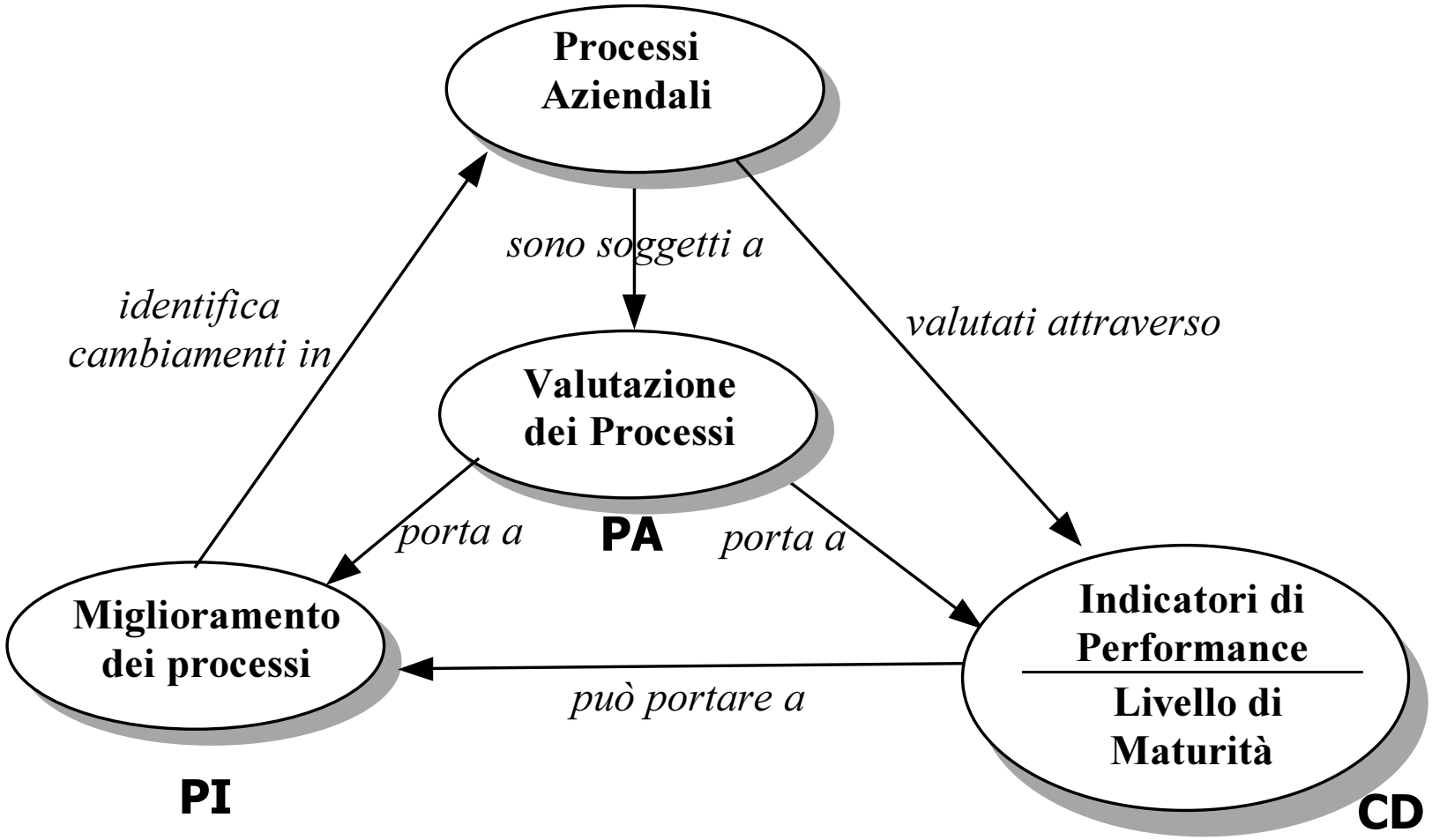


PA

.. Capability Detemination



…Process Improvement

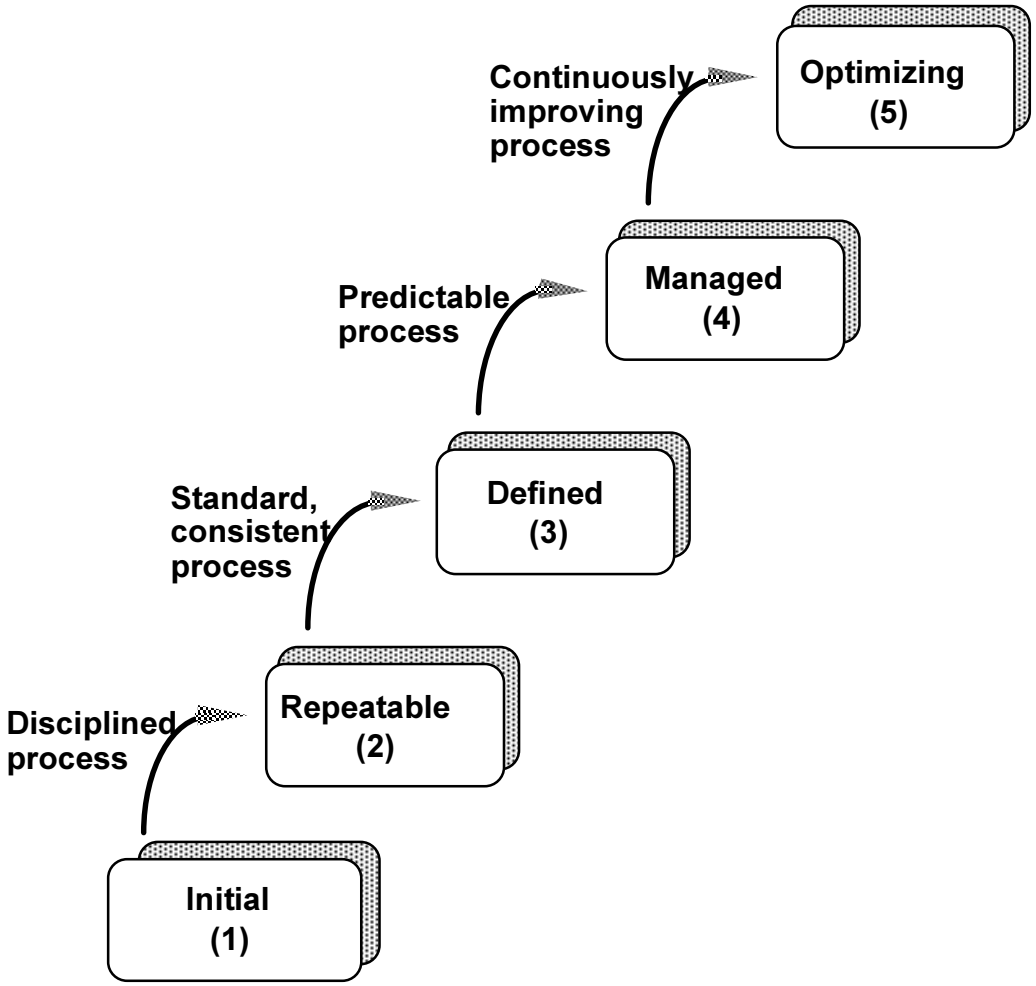


IL CMM (Capability Maturity Model)

- Un modello sviluppato dal SEI (Software Engineering Institute) per assistere il DOD (Dep.t of Defense) nel valutare la qualità dei fornitori di software
- La maturità del processo software è valutata su una scala da 1 a 5
- E' predisposta una lista di domande.
- Per poter essere valutato ad un dato livello occorre che tutte le risposte alle domande della relativa lista siano affermative (se una sola risposta è negativa il processo è automaticamente considerato di livello inferiore.
- La lista prevede 12 domande per l'assessment del livello 2. (una di queste è: "E' usata una procedura formale per stimare la dimensione del software"

- Presuppone un processo evolutivo attraverso cicli di SPA e SPI

IL CMM (Capability Maturity Model)

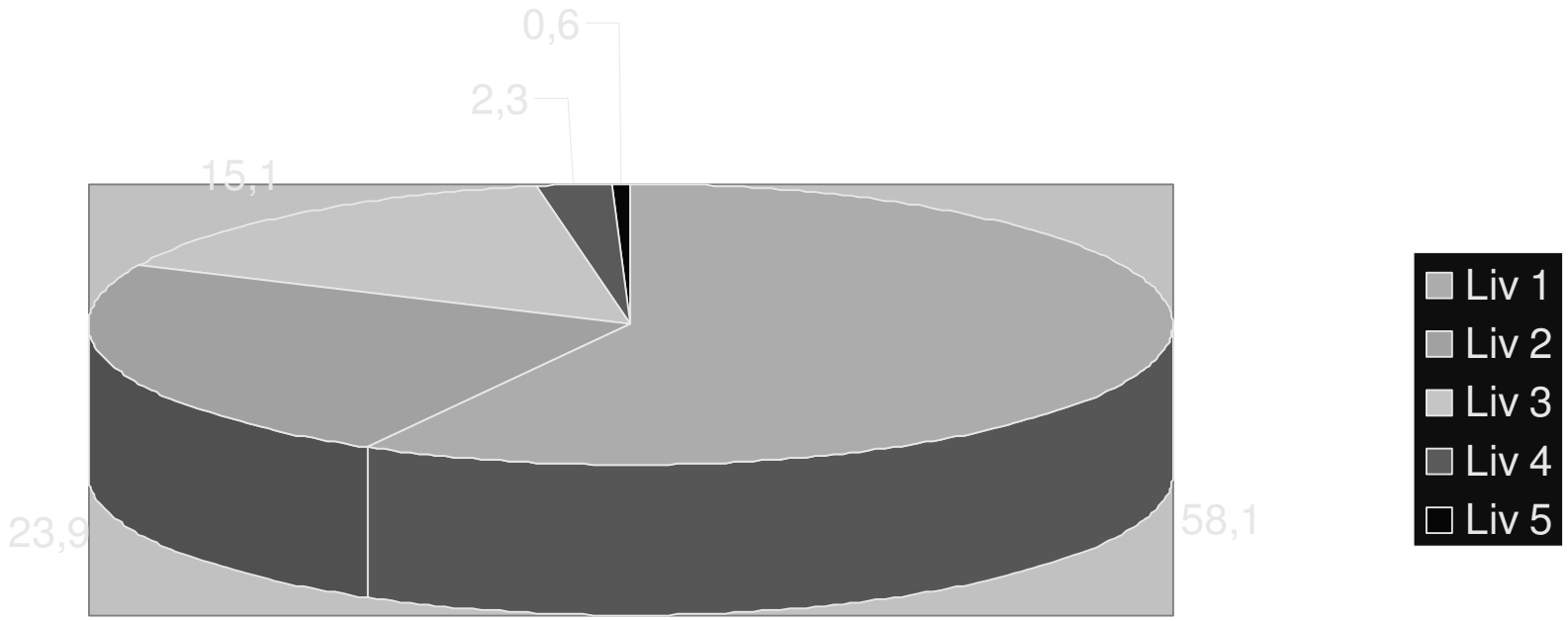


- I 5 livelli di CMM

Livelli CMM

- 1. *Iniziale.* Processo di sviluppo ad hoc o caotico. Pochi processi definiti, risultato dello sviluppo dipendente dall'impegno individuale e non del team.
- 2. *Ripetibile.* Sono in uso processi minimi di gestione. L'attività è disciplinata e viene tenuta traccia di costi, tempi e funzionalità.
- 3. *Definito.* Processi documentati e standardizzati. Integrazione di attività di manageriali e tecniche. Capacità di previsione dei costi.
- 4. *Gestito*. Si raccolgono misure dettagliate del processo e della qualità del prodotto. Processi e prodotti controllati e gestiti attraverso tecniche quantitative.
- 5. *Ottimizzato*. E' attivato un miglioramento continuo sulla base dei dati quantitativi raccolti e monitorando tecniche e strumenti in modo da poter quantificare il loro impatto sul processo.

Assessment al maggio 1998



Altri modelli per SPI

- CMM ha favorito la proliferazione di altri modelli (che ad esso sono fortemente ispirati):
  - Trillium, prodotto dalle compagnie telefoniche canadesi)
  - Bootstrap, esetensione di CMM sviluppato nel contesto di un progetto ESPRIT
  - AMI (Application of Metrics in Industry) sempre nel contesto di ESPRIT
  - SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination) è nato nel contesto ISO/IEC
  - Paradigma SEL (Sofware Engineering Laboratory della NASA)

Altri riferimenti

- Putnam, L.H., Myers, W., “Measures for excellence, reliable software on time, within budget” Prentice Hall, 1992
- Park, R. (1992), "Software Size Measurement: A Framework for Counting Source Statements," CMU/SEI-92-TR-20, Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA.
- Goethert, W., E. Bailey, M. Busby (1992), "Software Effort and Schedule Measurement: A Framework for Counting Staff Hours and Reporting Schedule Information." CMU/SEI-92-TR-21, Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA.
- Amadeus (1994), Amadeus Measurement System User’s Guide, Version 2.3a, Amadeus Software Research, Inc., Irvine, California, July 1994

- http://sunset.usc.edu/research/COCOMOII/