UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO

Corso di Laurea in Informatica e Tecnologie per la Produzione del Software *(Track B)* - A.A. 2018/2019

Laboratorio di Informatica

Debugging

docente: Cataldo Musto

cataldo.musto@uniba.it

Slides ispirate ai contenuti proposti
dal prof. Corrado Mencar. Grazie.

Debugging

- **Debug** = processo di riconoscimento e rimozione dei bug

Debugging

- **Debug** = processo di riconoscimento e rimozione dei bug
- **Bug** = errore presente nel software
  - **Errori Sintattici:**
  - **Errori Semantici:**

Debugging

- **Debug** = processo di riconoscimento e rimozione dei bug
- **Bug** = errore presente nel software
  - **Errori Sintattici:** rilevati sempre dal compilatore in fase di compilazione
    - **Esempio:** variabili non dichiarate, assenza del ‘;’ a fine istruzione, etc.
  - **Errori Semantici:** difficilmente rilevabili
    - **Esempio:** uso errato delle parentesi, contatori utilizzati in modo errato, confusione tra = e ==, etc.

Debugging

- **Debug** = processo di riconoscimento e rimozione dei bug
- **Bug** = errore presente nel software
  - **Errori Sintattici:** rilevati sempre dal compilatore in fase di compilazione
    - **Esempio:** variabili non dichiarate, assenza del ';' a fine istruzione, etc.
  - **Errori Semantici:** difficilmente rilevabili
    - **Esempio:** uso errato delle parentesi, contatori utilizzati in modo errato, confusione tra = e ==, etc.

- **Attenzione:**
  - I bug sono molto frequenti, anche in programmi semplici
  - Il debug è un'attività difficile, che richiede un tempo imprevedibile
  - Occorre adottare tutte le tecniche che **riducano la presenza di bug** e il **tempo del debug**
  - **Più è grande il programma, più è difficile trovare gli errori**

Debugging

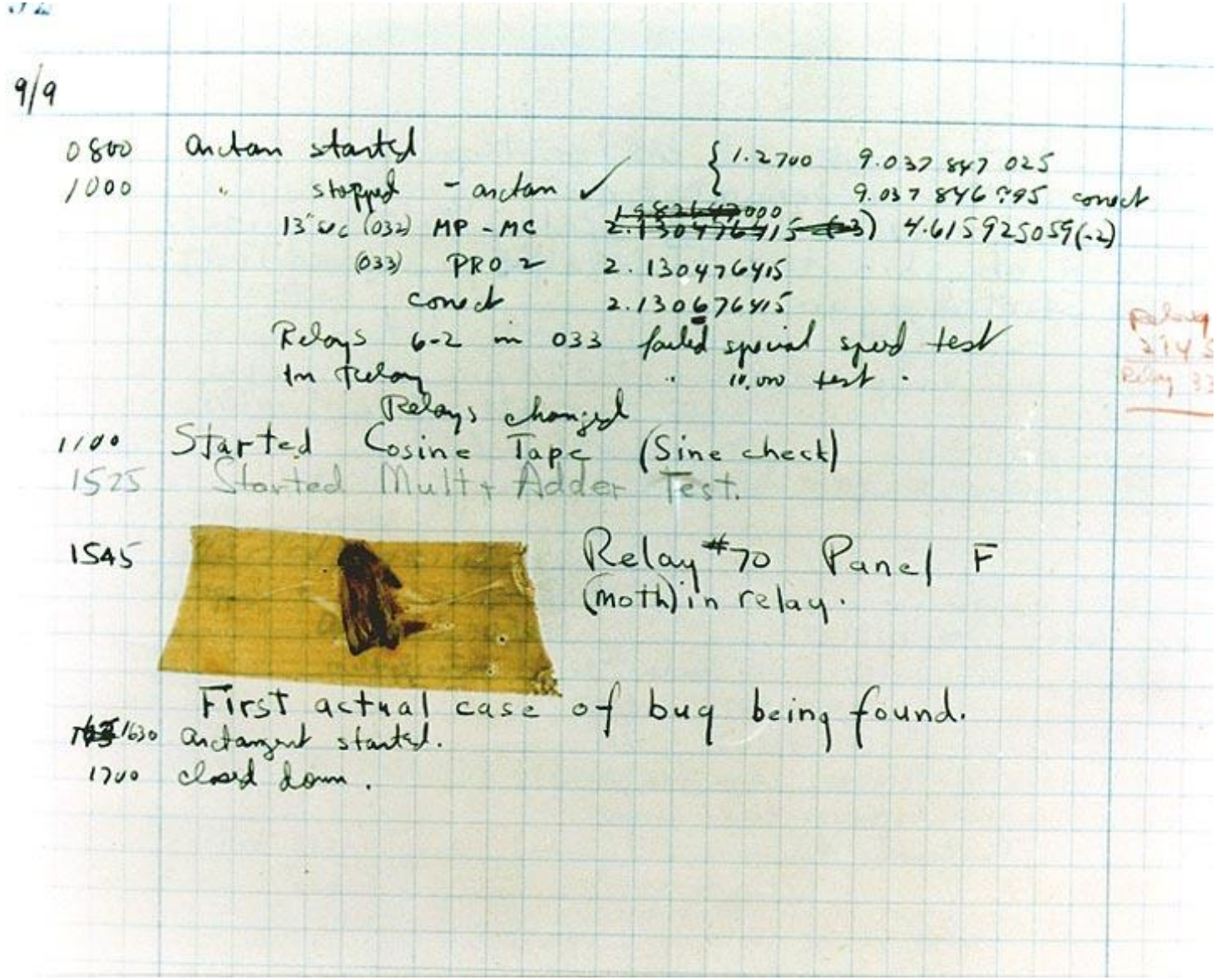
*Debugging **is twice as hard** as writing the code in the first place*

Brian Kernighan

Debugging: storia

Il 9 settembre 1947 il tenente Grace Hopper ed il suo gruppo stavano cercando la causa del malfunzionamento di un computer Mark II quando, con stupore, si accorsero che **una falena si era incastrata tra i circuiti**. Dopo aver rimosso l'insetto (alle ore 15.45), il tenente incollò la falena rimossa sul registro del computer e annotò: «1545. Relay #70 Panel F (moth) in relay. **First actual case of bug being found**».

fonte: Wikipedia



Debugging: **perché?**

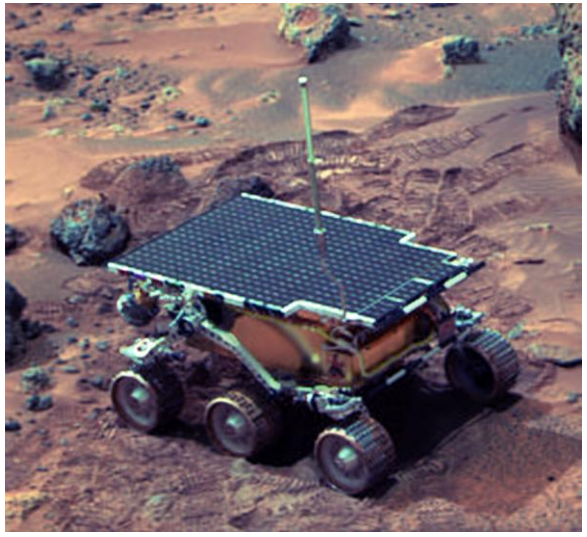
(1996)

Thirty-six seconds into its maiden launch the rocket's engineers hit the self destruct button following multiple computer failures.

In essence, **the software had tried to cram a 64-bit number into a 16-bit space**. The resulting overflow conditions crashed both the primary and backup computers (which were both running the exact same software).

The Ariane 5 had cost nearly **$8 billion to develop**, and was carrying a **$500 million** satellite payload when it exploded.

Debugging: **perché?**



“The Mars Pathfinder mission was widely proclaimed as "flawless" in the early days after its July 4th, 1997 landing on the Martian surface. [...] But a few days into the mission, not long after Pathfinder started gathering meteorological data, the spacecraft began experiencing total system resets, each resulting in losses of data.”

(D. Wilner, 1997 IEEE Real-Time Systems Symposium)

Se un bug è individuato, va eliminato subito. Il trasferimento di un bug nei passi successivi del ciclo di sviluppo di un software **fa crescere il costo del debugging in termini esponenziali.**

Debugging: **come?**

- **Bug** = errore presente nel software
  - **Errori Sintattici:** rilevati sempre dal compilatore in fase di compilazione
    - **Esempio:** variabili non dichiarate, assenza del ';' a fine istruzione, etc.
  - **Errori Semantici:** difficilmente rilevabili
    - **Esempio:** uso errato delle parentesi, contatori utilizzati in modo errato, confusione tra = e ==, etc.

- Il debugging è ovviamente focalizzato sulla **rimozione degli errori semantici**
- **Che tipologia di errori (semantici)** possiamo incontrare?

Debugging: **come?**

- Il debugging è ovviamente focalizzato sulla **rimozione degli errori semantici**
- **Che tipologia di errori (semantici)** possiamo incontrare?
  - **Interruzione inattesa** del programma
  - Il programma **non si ferma** più
  - Il programma termina dando **risultati sbagliati**

Debugging: **come?**

- Il debug di un programma consta di tre fasi successive:
  1. **trovare le istruzioni** che causano il bug
  2. **scoprire il motivo** del bug
  3. **correggere** il codice

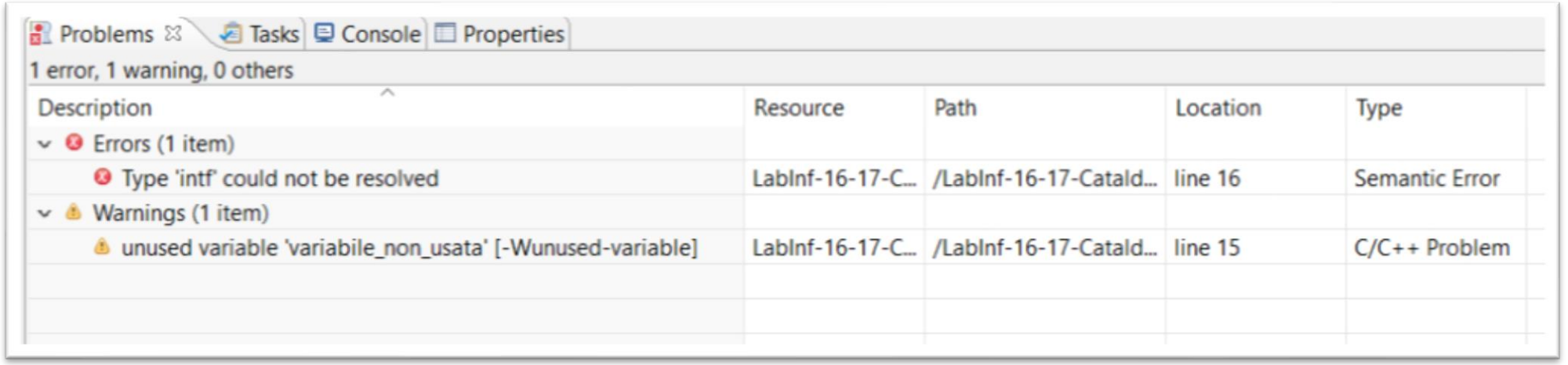
- La prima fase è certamente la più difficile **e le tecniche** da utilizzare nella individuazione dei bug **dipendono dalla tipologia di errori (semantici)**
  - Prima di adottare il debugger, **esistono delle linee guida / accorgimenti che è bene seguire** per individuare le istruzioni che causano il bug

1) Supporto del compilatore

- Molti compilatori **emettono dei "warning",** cioé dei messaggi di avvertimento
  - `if (a=0) …`
  - `x = x`
  - nessun return

- Analizzare attentamente i warning emessi dal compilatore. **Molto spesso dietro un warning può nascondersi un potenziale bug.**

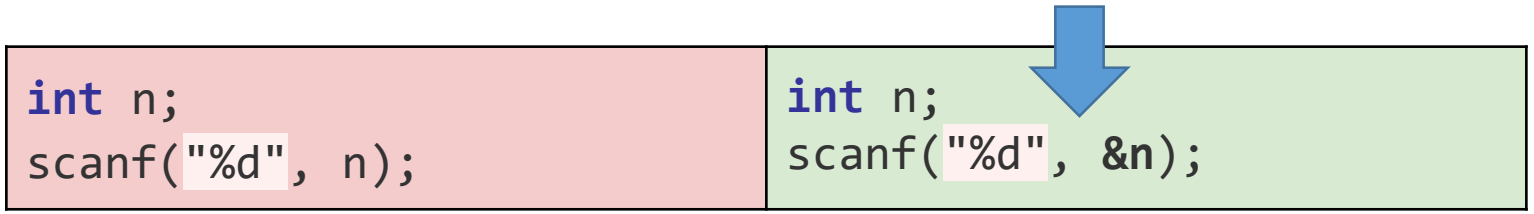
1) Supporto del compilatore



Esempio di Warning in **Eclipse CDT**

2) Pattern familiari

- **Riconoscere variazioni** rispetto a “modelli” (pattern) di codice familiari



- **Consiglio:** L’uso di un **corretto stile di programmazione** aiuta a ridurre la presenza di bug

3) Esaminare codice simile

- Se un bug è presente in una porzione di codice, allora è probabile che se ne annidi un **altro in un codice simile**
  - problema del *“copy-and-paste”*
  - Es) Tipicamente avviene nei cicli, che hanno spesso una struttura standard. **Ad esempio se si sbaglia la condizione di uscita**

3) Esaminare codice simile

- Se un bug è presente in una porzione di codice, allora è probabile che se ne annidi un **altro in un codice simile**
  - problema del *"copy-and-paste"*
  - Es) Tipicamente avviene nei cicli, che hanno spesso una struttura standard. **Ad esempio se si sbaglia la condizione di uscita**

- **Una buona progettazione del codice riduce la ridondanza** e, quindi, la possibilità di bug duplicati
  - Porzioni di codice che svolgono operazioni simili **possono essere codificate attraverso funzioni o procedure**. In tal caso il bug si presenterà solo una volta, tipicamente dentro la funzione.

4) Backward reasoning

- Quando si scopre un bug, occorre “pensare al contrario”
  - Partendo dal risultato, occorre risalire alla catena delle cause che lo hanno portato. Una delle cause della catena sarà errata

4) Backward reasoning

- Quando si scopre un bug, occorre “pensare al contrario”
  - Partendo dal risultato, occorre risalire alla catena delle cause che lo hanno portato. Una delle cause della catena sarà errata
  - Es.) Ho prodotto un risultato. In che variabile è contenuto il risultato? Quali istruzioni hanno modificato quella variabile? L’**errore sarà certamente in una di quelle istruzioni**
  - Es.) Se appare un bug **ogni qual volta viene invocata una funzione**, probabilmente l’errore è dentro la funzione

- Scrivere **codice leggibile** aiuta il **backward reasoning** e, quindi, a localizzare i bug

5) Sviluppo incrementale

- Testare le procedure man mano che vengono sviluppate
  - Se i test all'istante **t** hanno **successo** ma **falliscono** all'istante **t+1**, allora molto probabilmente i bug si annidano nel codice sviluppato tra **t** e **t+1**

5) Sviluppo incrementale

- Testare le procedure man mano che vengono sviluppate
  - Se i test all'istante **t** hanno **successo** ma **falliscono** all'istante **t+1**, allora molto probabilmente i bug si annidano nel codice sviluppato tra **t** e **t+1**
  - **Esempio**
    - Il valore delle variabili prima di un ciclo è quello atteso, ma dopo il ciclo il valore non è più corretto. **Allora è chiaro che il bug è localizzato dentro il ciclo.**
    - Il valore di una variabile prima di una funzione è quello atteso, dopo la funzione non è più corretto. **Allora è chiaro che il bug è stato provocato dalla funzione.**

- **La progettazione modulare** del codice aiuta a individuare meglio la posizione dei bug

6) Debugging «Divide et impera»

- Individuare **le condizioni minimali** che rendono manifesto un bug
  - es. la stringa più breve, valore più piccolo
    - **Test dei casi limite è fondamentale**
    - Casi limite = Situazioni che possono portare il programma in errore

6) Debugging «Divide et impera»

- Individuare **le condizioni minimali** che rendono manifesto un bug
  - es. la stringa più breve, valore più piccolo
    - **Test dei casi limite è fondamentale**
    - Casi limite = Situazioni che possono portare il programma in errore
    - **Esempio:** calcolo del BMI
      - Valore limite: peso = 0
      - Il programma funziona con peso = 0 o da un errore? Se dà un errore, il bug è localizzato nel punto legato al calcolo del BMI

- **Le condizioni minimali possono facilitare la localizzazione di un bug**
  - Bisogna conoscere le condizioni minimali prima di cominciare a scrivere codice

7) Leggere e spiegare il codice

- Leggere il codice e comprenderne il significato
  - Il codice è un frammento di «conoscenza» che deve essere compreso sia dalla macchina che da chi la programma
  - **La leggibilità del codice è fondamentale**
    - **Difficoltà a spiegare o commentare un pezzo di codice sono probabilmente indice di una esagerata complessità, che a sua volta è indice di potenziali bug**

- **Consiglio:** Spiegare ad altri il codice aiuta a ridurre problemi
  - Assicuratevi che il codice sia sempre comprensibile, provando a spiegarlo ad altri

8) Rendere riproducibile un bug

- Individuare tutte le condizioni che portano alla manifestazione di un bug
  - Input e altri parametri
  - Condizioni della macchina
  - Seed di numeri casuali

- **Se il bug non si verifica sempre, diventa ancora più complicato riuscire a capirne il motivo**

8) Rendere riproducibile un bug

- **Alcuni bug si presentano con regolarità, ma non sempre**
- In questo caso, occorre capire il meccanismo (“pattern”) che genera la regolarità

8) Rendere riproducibile un bug

- **Alcuni bug si presentano con regolarità, ma non sempre**
- In questo caso, occorre capire il meccanismo ("pattern") che genera la regolarità
  - Es: Alcuni bug si presentano solo dando in input numeri dispari
  - Es: Il bug si presenta solo dando in input valori negativi
  - **Es: Il bug si verifica solo se inserisco stringhe più lunghe di 10 caratteri**
    - Ecc. Ecc.

- Comprendere le regolarità **può aiutare a capire la natura del problema**
  - Es: Se il bug **si verifica solo se inserisco stringhe più lunghe di 10 caratteri** non memorizzo caratteri a sufficienza, e perdo delle informazioni.
    Soluzione: Aumentare la dimensione del vettore per eliminare il bug.

9) Stampe ausiliarie

- Per seguire l'esecuzione può essere utile **introdurre stampe ausiliarie**
  - Valido soprattutto per situazioni che non possono essere tracciate da un debugger es. sistemi distribuiti, programmi paralleli, etc. **Tipicamente si stampano i valori delle variabili**
  - **Adottare i meccanismi della ricerca binaria ☺**

9) Stampe ausiliarie

- Per seguire l'esecuzione può essere utile **introdurre stampe ausiliarie**
  - Valido soprattutto per situazioni che non possono essere tracciate da un debugger es. sistemi distribuiti, programmi paralleli, etc. **Tipicamente si stampano i valori delle variabili**
  - **Adottare i meccanismi della ricerca binaria ☺**
    - Es) Inserire una stampa a metà del programma. Se il valore è corretto, il bug è localizzato nella metà successiva. **Ripetere iterativamente il processo!**

- **Le stampe ausiliarie devono necessariamente essere eliminate** dopo aver scovato il bug
  - **Possono essere commentate anziché eliminate**
- Per situazioni complesse, si possono usare strumenti di logging
  - **Log =** Registrazione di tutte le operazioni effettuate dal programma

10) Uso del Debugger

Debugger
in Eclipse CDT

- In alternativa (o in accoppiata) all'utilizzo di queste linee guida, si può (deve!) utilizzare **uno strumento chiamato debugger**

- **Un debugger guarda "dentro"** il programma durante l'esecuzione
  - **Tracing** del programma: *esecuzione istruzione per istruzione*
  - Visualizzazione del **contenuto delle variabili**
  - **Valutazione dinamica** di espressioni
  - **Breakpoint**, anche condizionali
  - **Stack trace:** sequenza di chiamate a funzione effettuate dal programma
  - …

Debugger

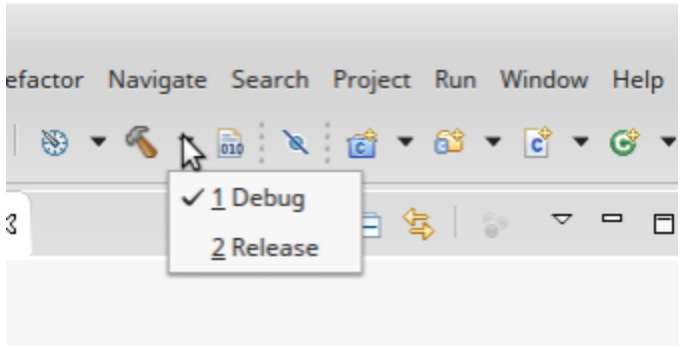
Debugger
in Eclipse CDT

- **Un debugger guarda "dentro"** il programma durante l'esecuzione
  - **Tracing** del programma: *esecuzione istruzione per istruzione*
  - Visualizzazione del **contenuto delle variabili**
  - **Valutazione dinamica** di espressioni
  - **Breakpoint**, anche condizionali
  - **Stack trace:** sequenza di chiamate a funzione effettuate dal programma
  - …
- Sono strumenti molto sofisticati, **abituarsi al loro uso può migliorare significativamente la produttività nella programmazione.**

Debugging in Eclipse CDT

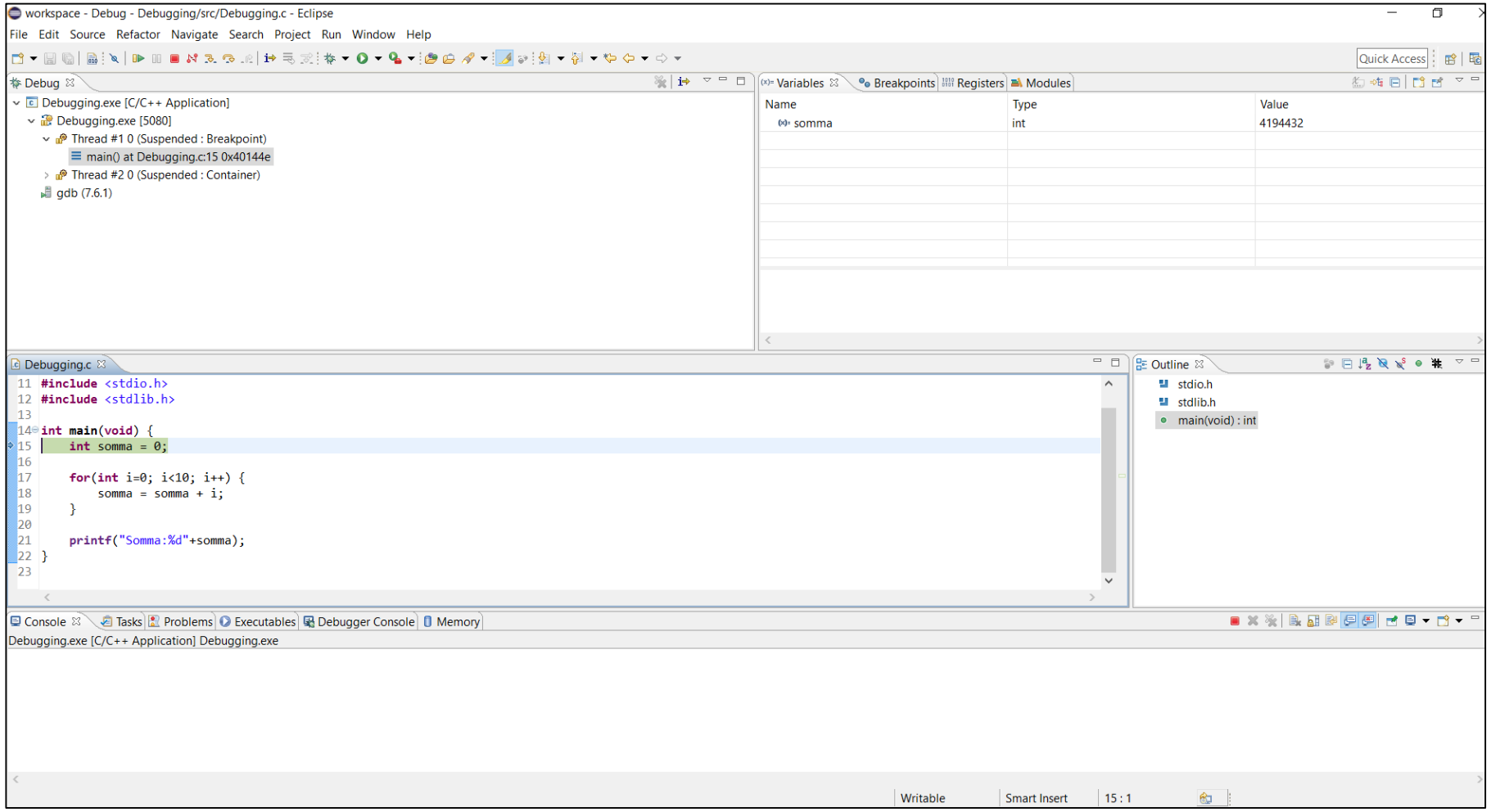
Debugger
in Eclipse CDT

- Un debugger **ha bisogno di informazioni aggiuntive** nel codice compilato
  - link tra il codice compilato e il codice sorgente
- Per stabilire la corrispondenza tra codice compilato e codice sorgente, **la compilazione per il debug non deve essere ottimizzata**
- Due modalità di compilazione
  - **Debug**
    - **Meno efficiente, per il debug**
  - Release
    - Ottimizzata



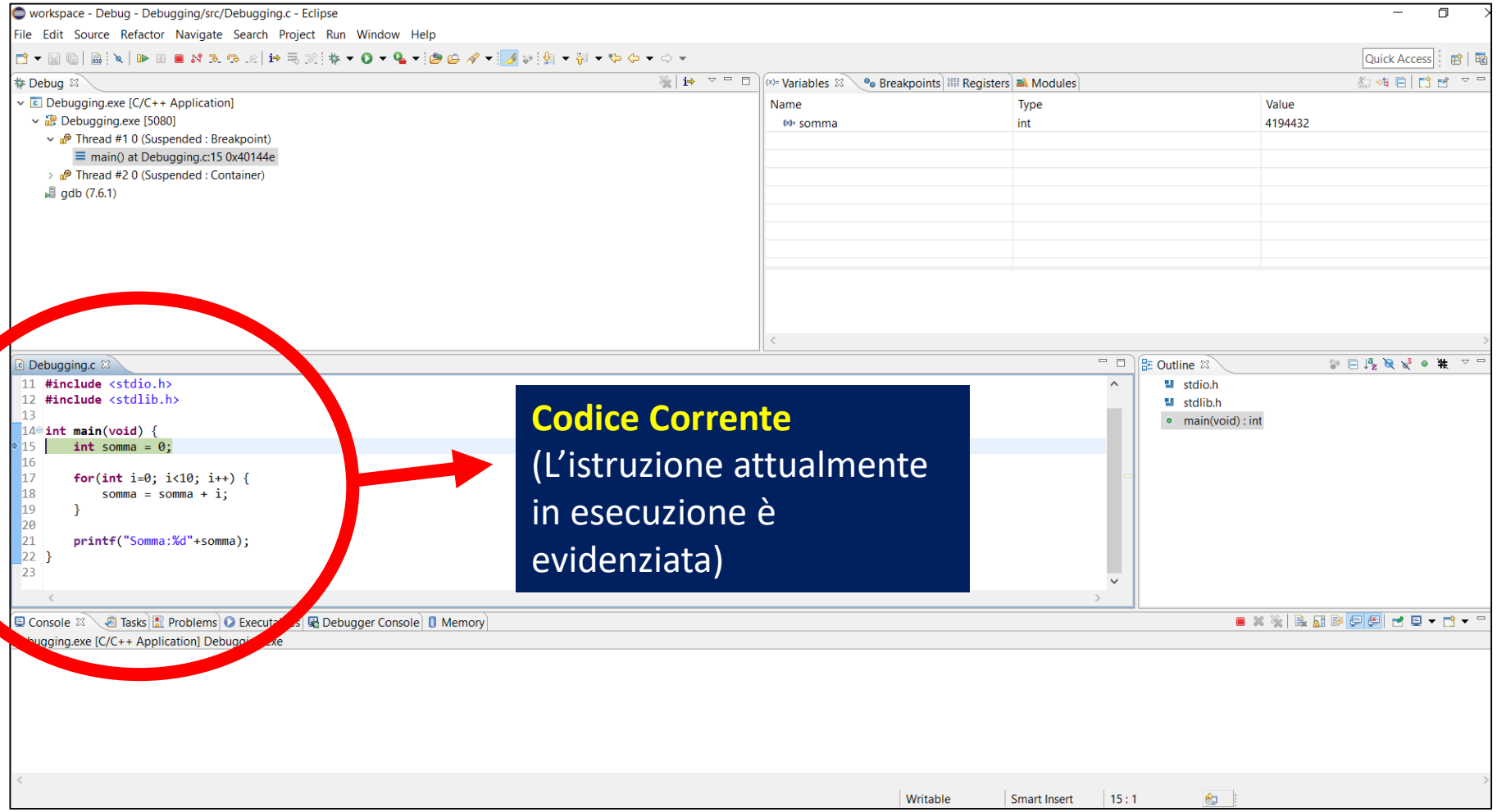
Debugging in Eclipse CDT

Debugger
in Eclipse CDT



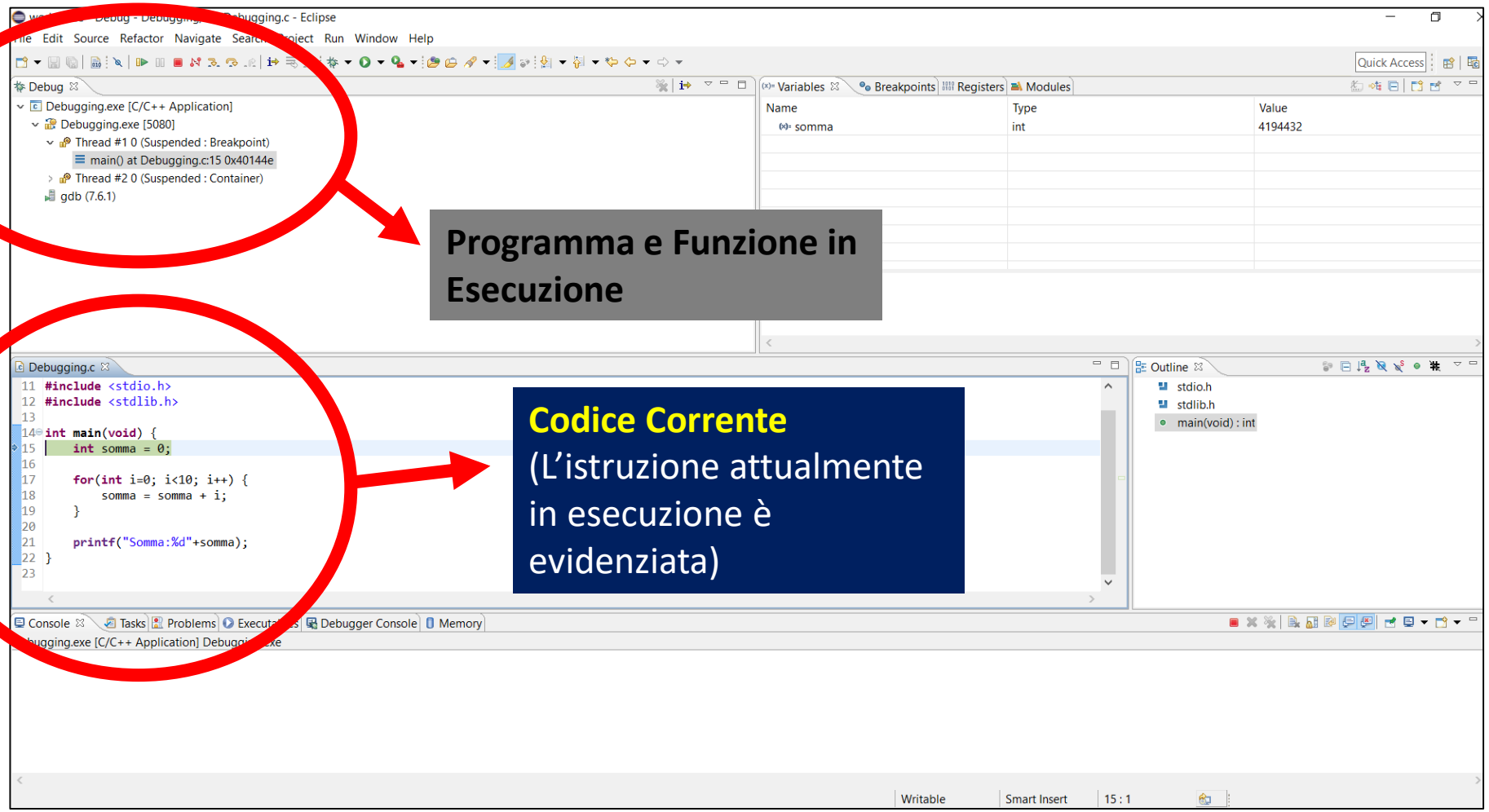
Debugging in Eclipse CDT

Debugger
in Eclipse CDT



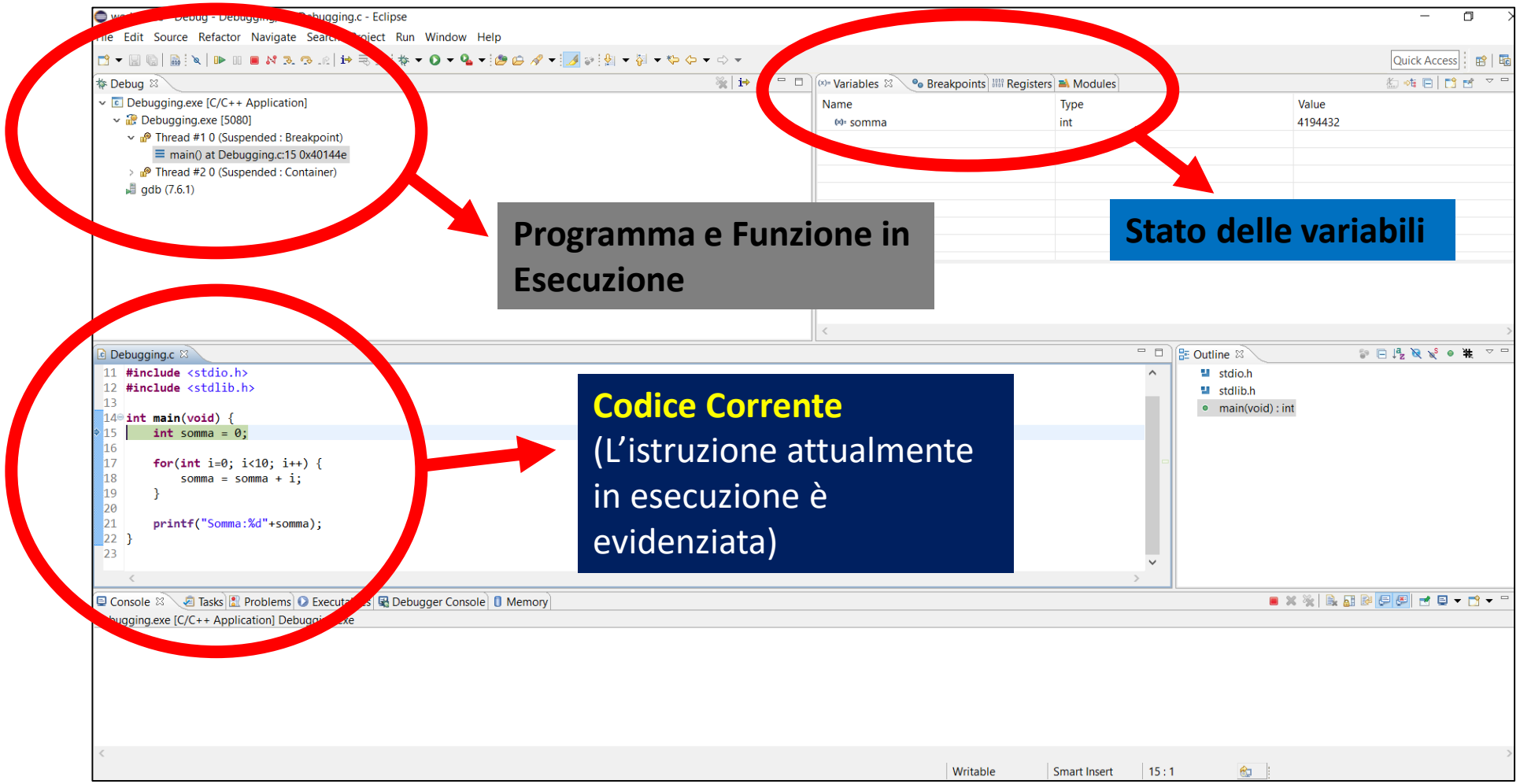
Debugging in Eclipse CDT

Debugger
in Eclipse CDT



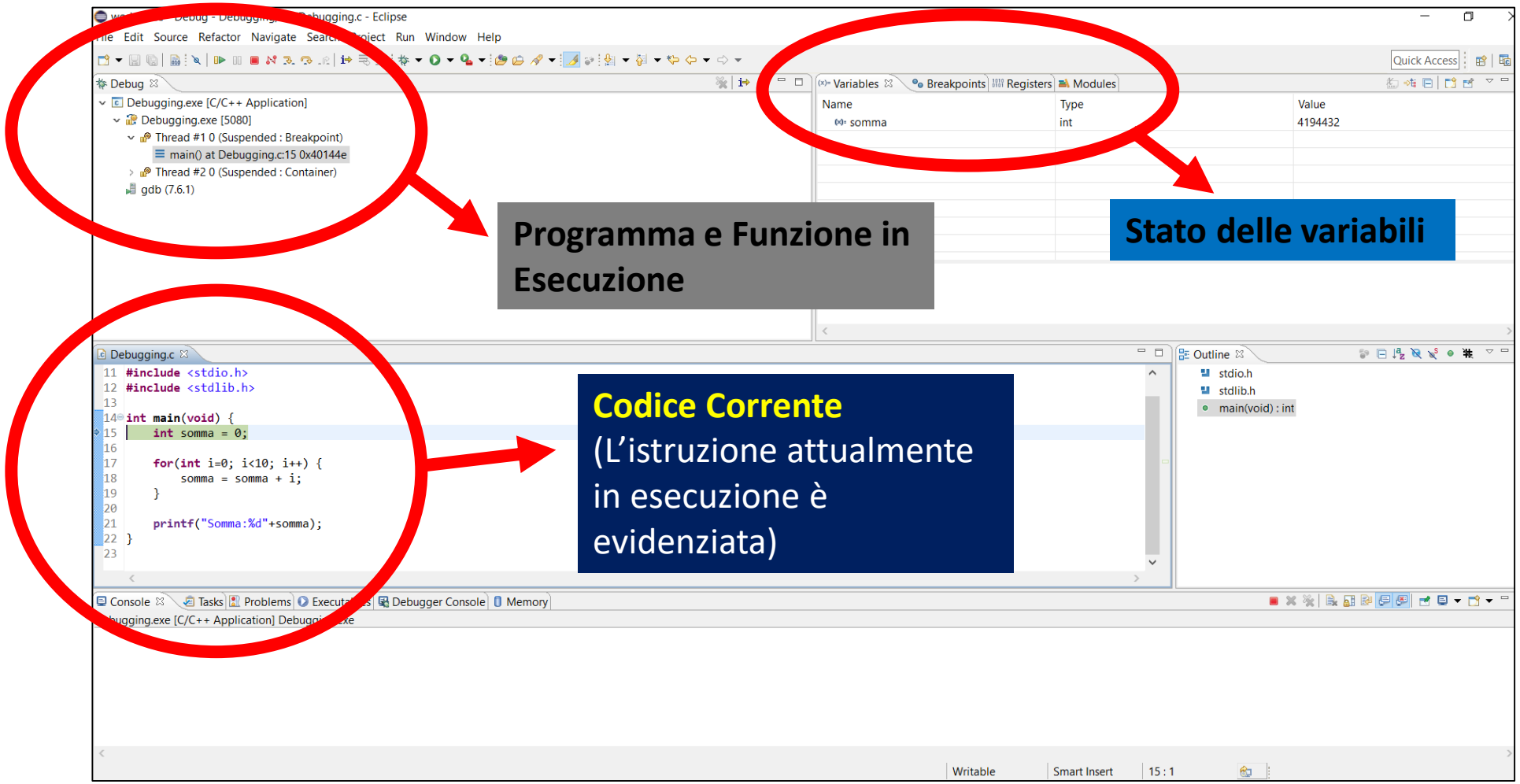
Debugging in Eclipse CDT

Debugger
in Eclipse CDT



Debugging in Eclipse CDT

Come controlliamo
l'esecuzione del programma?

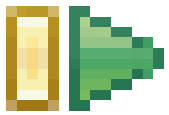


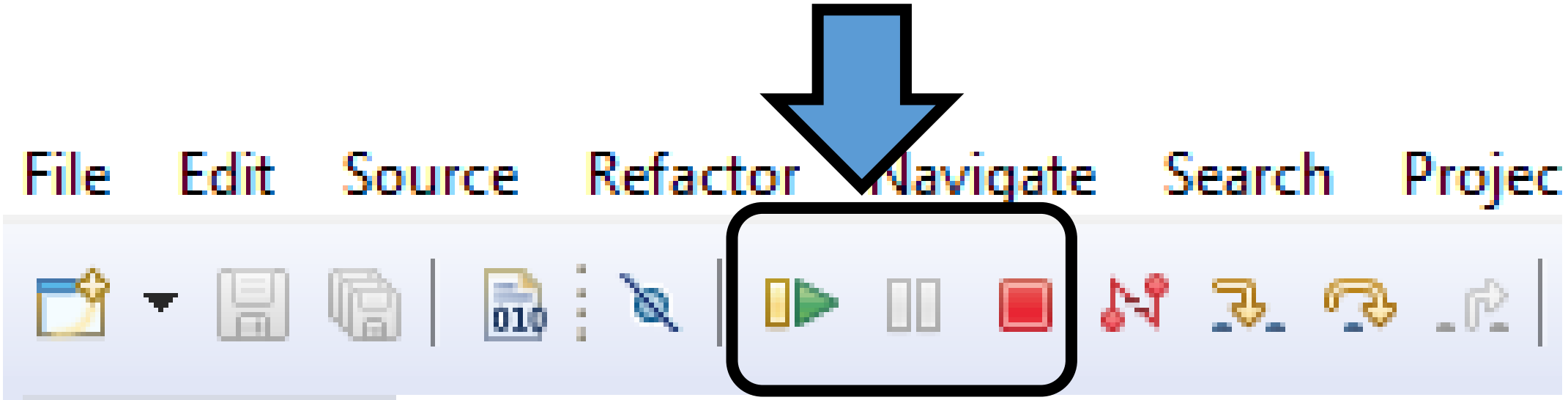
Debugging in Eclipse CDT

- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**

Debugging in Eclipse CDT

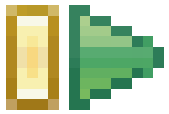
- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Comandi Resume e Terminate**





Debugging in Eclipse CDT

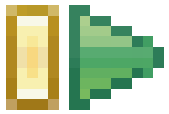
- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Comandi Resume e Terminate**




- **Resume**
  - Esegue le istruzioni fino al prossimo **breakpoint** oppure al **termine del programma**

Debugging in Eclipse CDT

- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Comandi Resume e Terminate**

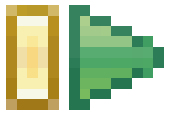



- **Resume**
  - Esegue le istruzioni fino al prossimo **breakpoint** oppure al **termine del programma**
- **Terminate**
  - Interrompe l'esecuzione del programma
    - Utile quando il **programma va in loop infinito** o quando si scova un bug
  - **Attenzione:** i programmi non terminati rimangono in esecuzione per il sistema operativo
    - Occupazione inutile di memoria, Problemi per la ricompilazione

Debugging in Eclipse CDT

Problema: per scovare più facilmente un bug abbiamo bisogno di eseguire il programma **istruzione per istruzione**

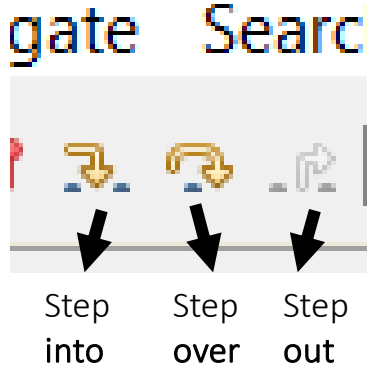
- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Comandi Resume e Terminate**

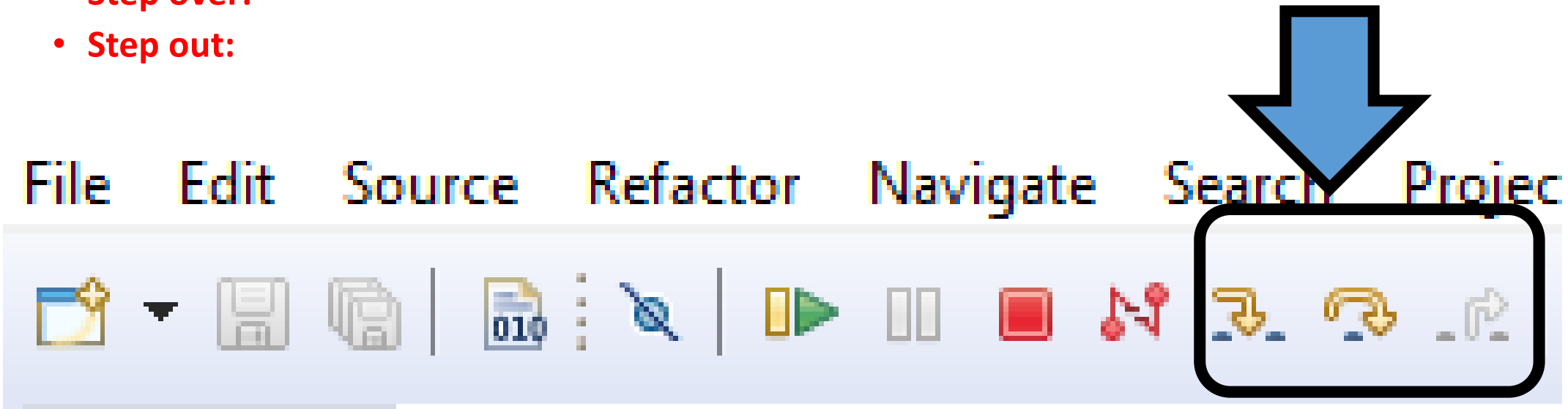



- **Resume**
  - Esegue le istruzioni fino al prossimo breakpoint oppure al **termine del programma**
- **Terminate**
  - Interrompe l'esecuzione del programma
    - Utile quando il **programma va in loop infinito** o quando si scova un bug
  - **Attenzione:** i programmi non terminati rimangono in esecuzione per il sistema operativo
    - Occupazione inutile di memoria, Problemi per la ricompilazione

Debugging in Eclipse CDT

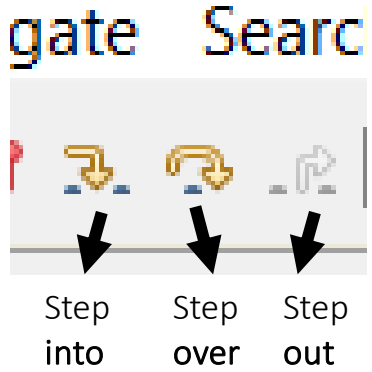
- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:**
  - **Step over:**
  - **Step out:**



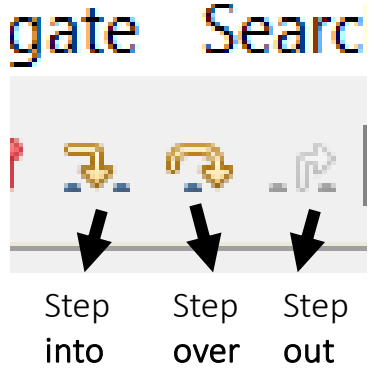


Debugging in Eclipse CDT

- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche nelle** funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione



Debugging in Eclipse CDT



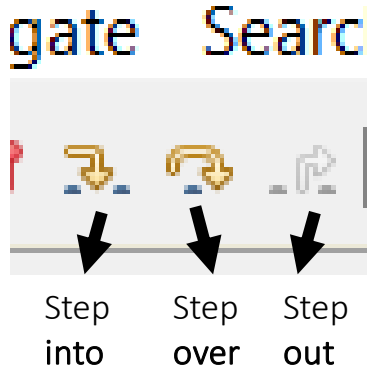
- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche nelle** funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione

```
59          int i;
60          for (i=0; i<b; i++){
61              result = sum(result, a);
62          }
```

```
30 int sum(int a, int b) {
31     if (b == 0){
32         return a;
33     } else if (b > 0) {
```

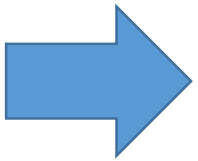
Step Into

Debugging in Eclipse CDT



- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche dentro** le funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione

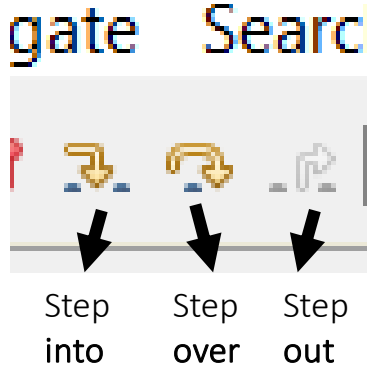
```
59        int i;
60        for (i=0; i<b; i++){
61            result = sum(result, a);
62        }
```



```
59        int i;
60        for (i=0; i<b; i++){
61            result = sum(result, a);
62        }
```

Step Over

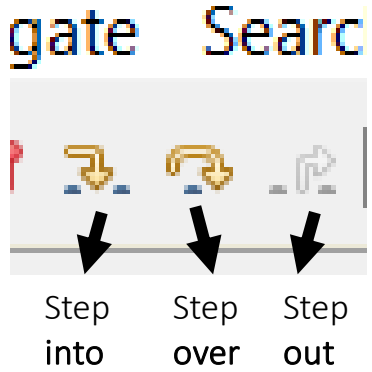
Debugging in Eclipse CDT



- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche dentro** le funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione

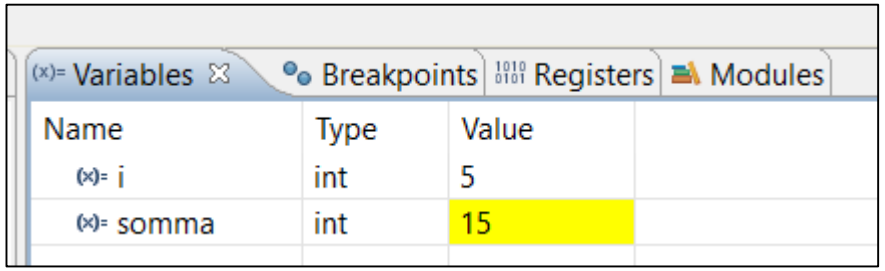
- **Ogni click** sul tasto fa scorrere tra le istruzioni del programma.
  - In parallelo vengono aggiornati i valori delle variabili definite nel programma
  - **Box «Variables» in alto a destra**

Debugging in Eclipse CDT

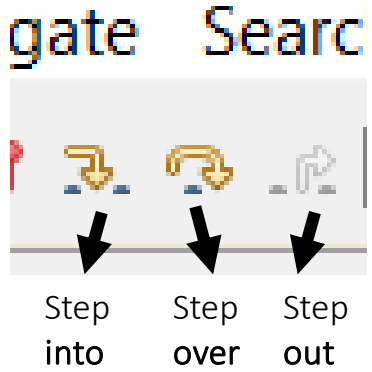


- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche dentro** le funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione

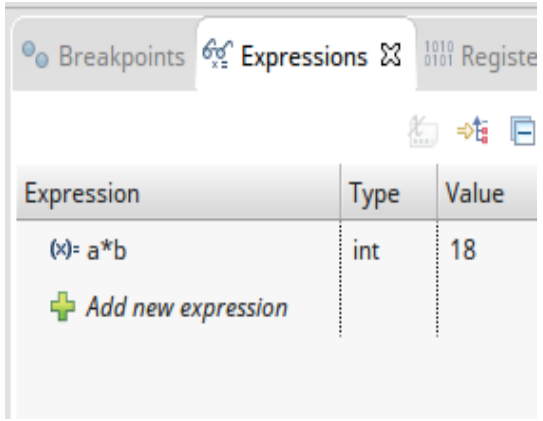
- **Ogni click** sul tasto fa scorrere tra le istruzioni del programma.
  - **Lo stato delle variabili viene aggiornato in tempo reale**
  - L'ultima variabile modificata **viene evidenziata**



Debugging in Eclipse CDT

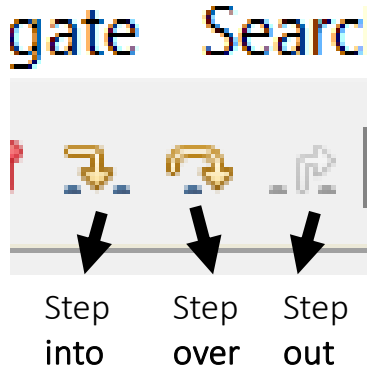


- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche dentro** le funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione



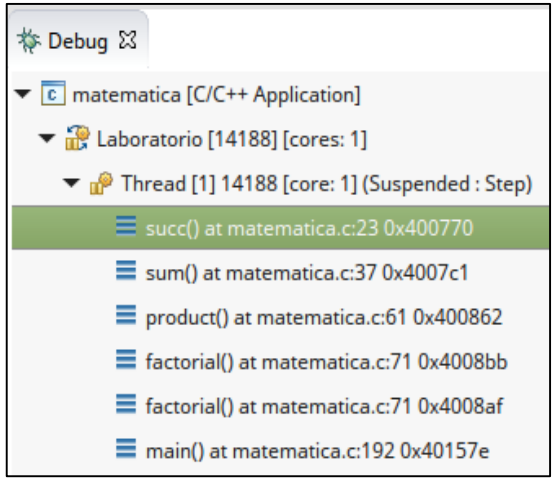
- **Ogni click** sul tasto fa scorrere tra le istruzioni del programma.
  - Durante l'esecuzione del programma può anche interessarci **valutare il valore a run time di alcune espressioni (es. espressioni di uscita dai cicli)**
  - **'Add new expression'**

Debugging in Eclipse CDT



- Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
- **Tasti 'step'**
  - **Step into:** esegue il programma **entrando anche dentro** le funzioni
  - **Step over:** esegue il programma **ignorando** le funzioni
  - **Step out: torna alla funzione chiamante**, ignorando il contenuto della funzione

- **Ogni click** sul tasto fa scorrere tra le istruzioni del programma.
  - **Nel caso in cui vengano invocate delle funzioni, lo stack trace viene aggiornato**
  - **Box in alto a sinistra**



Debugging in Eclipse CDT – Breakpoint

- (Finora) Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Tasti 'step'**
- Eseguire il programma istruzione per istruzione **può richiedere troppo tempo**

Debugging in Eclipse CDT – Breakpoint

- (Finora) Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Tasti 'step'**
- Eseguire il programma istruzione per istruzione **può richiedere troppo tempo**
- **Alternativa: utilizzo dei breakpoint**

Debugging in Eclipse CDT

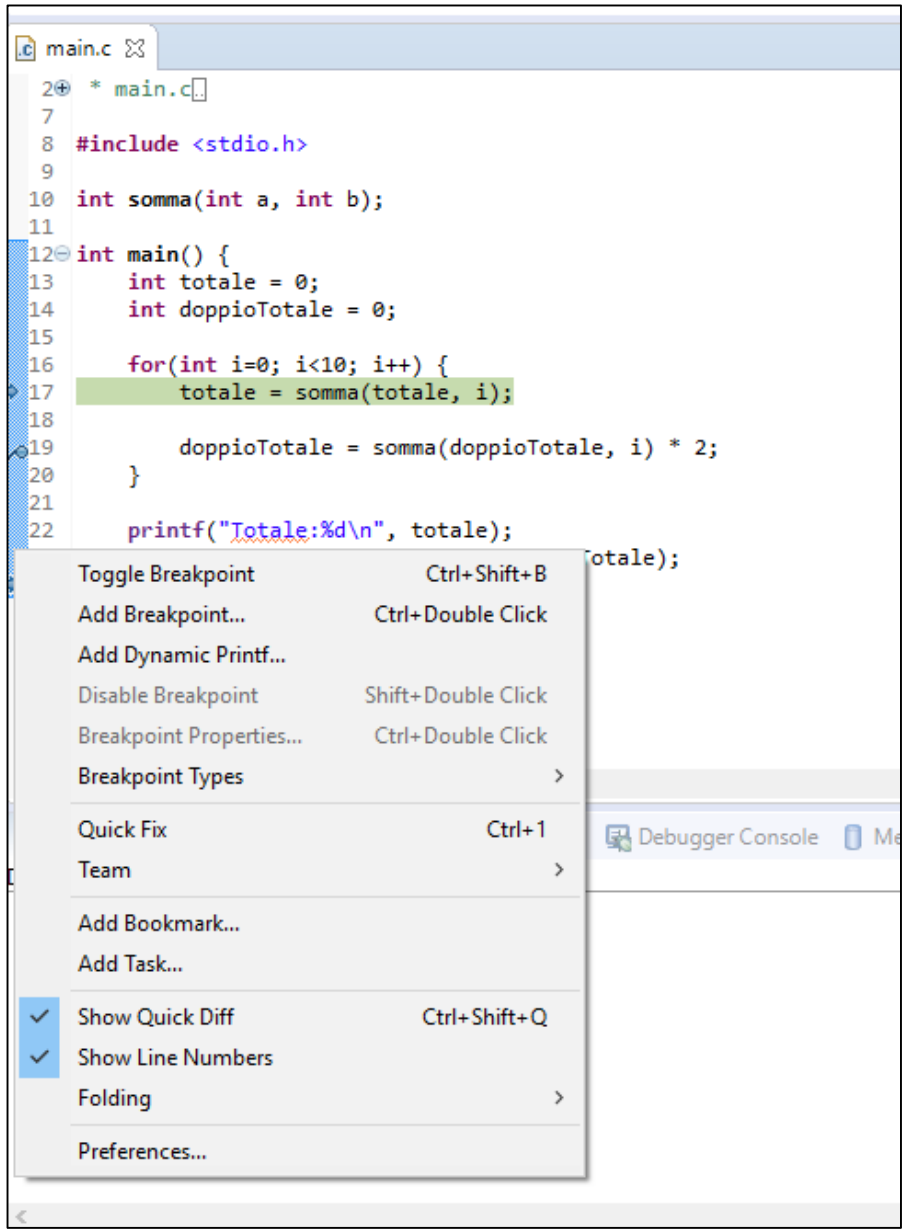
- (Finora) Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Tasti 'step'**
- Eseguire il programma istruzione per istruzione **può richiedere troppo tempo**
- **Alternativa: utilizzo dei breakpoint**
  - Identificano dei punti del programma **che vogliamo 'monitorare'**
  - Si utilizzano **in corrispondenza di espressioni 'critiche'**

Debugging in Eclipse CDT

- (Finora) Come controlliamo **l'esecuzione del programma?**
  - **Tasti 'step'**
- Eseguire il programma istruzione per istruzione **può richiedere troppo tempo**
- **Alternativa: utilizzo dei breakpoint**
  - Identificano dei punti del programma **che vogliamo 'monitorare'**
  - Si utilizzano **in corrispondenza di espressioni 'critiche'**
  - Il programma viene eseguito normalmente fino a quella istruzione, **poi il debugger si attiva e comincia a monitatore lo stato della macchina e delle variabili**
  - **Per definire un breakpoint, si effettua doppio click sul numero che identifica il rigo dell'istruzione (oppure tasto destro e 'Add Breakpoint')**

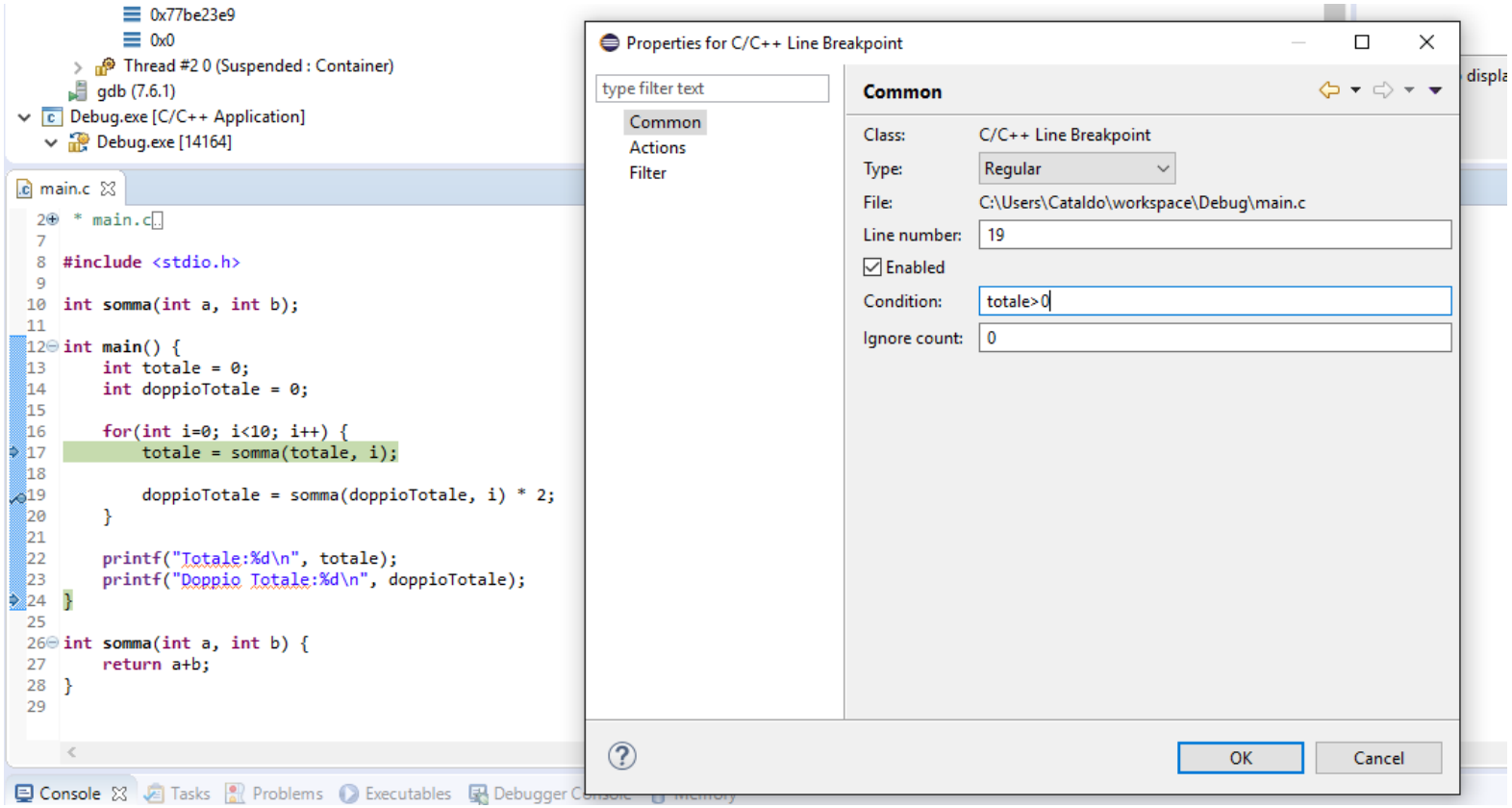
Debugging in Eclipse CDT

- **Alternativa: utilizzo dei breakpoint**
  - **Per definire un breakpoint, si effettua doppio click sul numero che identifica il rigo dell'istruzione (oppure tasto destro e 'Add Breakpoint')**
  - Le istruzioni con un breakpoint vengono evidenziate accanto al numero di riga
  - E' possibile definire dei breakpoint più complessi?



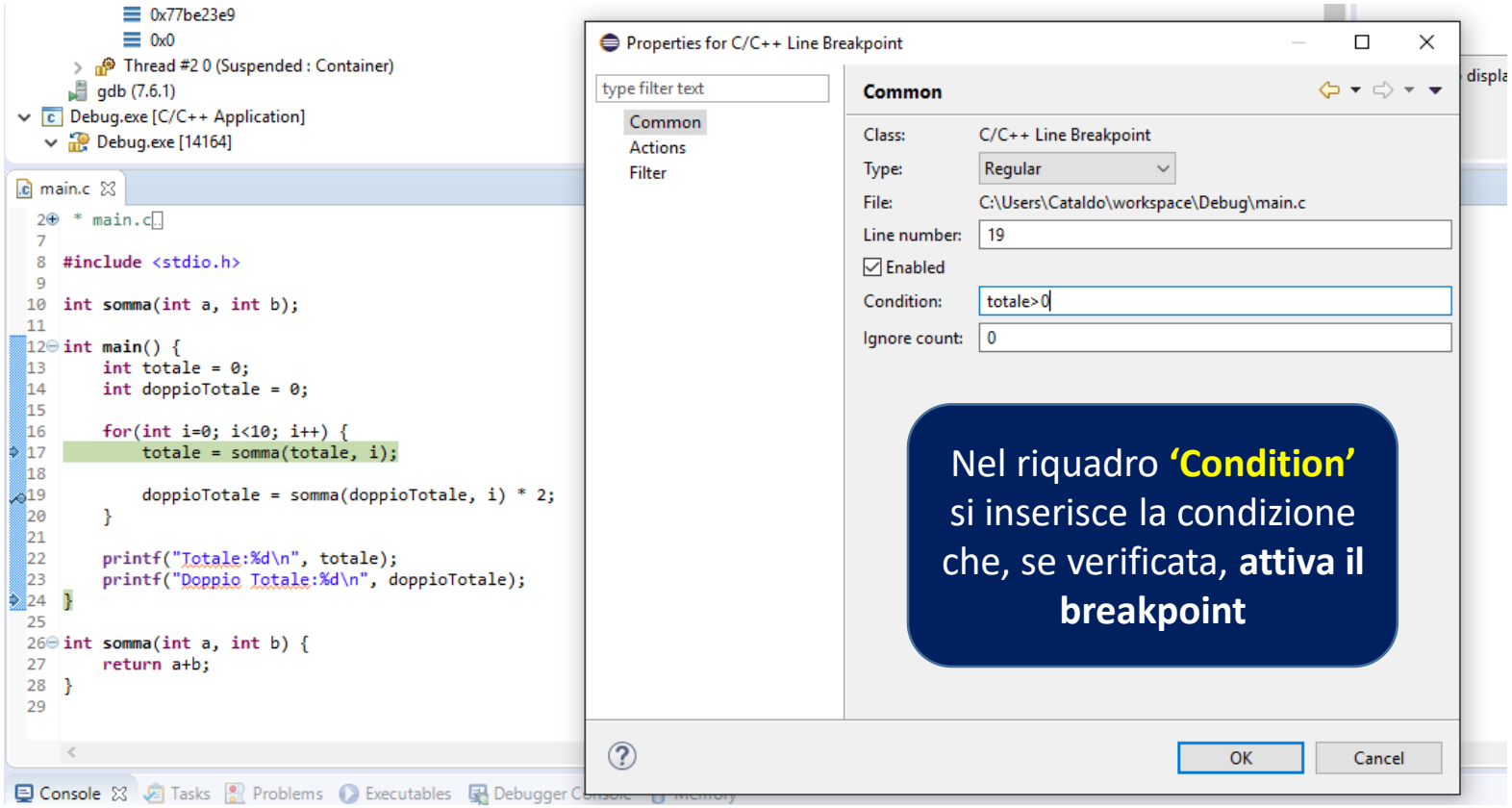
Debugging in Eclipse CDT

- **Breakpoint condizionali**
  - Particolare tipologia di breakpoint
  - L'esecuzione si ferma solo se viene verificata una particolare condizione
  - Come definirli?
    - Si definisce un breakpoint standard
    - **Tasto destro → Breakpoint properties**



Debugging in Eclipse CDT

- **Breakpoint condizionali**
  - Particolare tipologia di breakpoint
  - L'esecuzione si ferma solo se viene verificata una particolare condizione
  - Come definirli?
    - Si definisce un breakpoint standard
    - **Tasto destro → Breakpoint properties**




DOMANDE?
imgflip.com

Debugger - Esercitazione

- Copiare nell'editor il codice sorgente mostrato nella prossima slide
- Il programma implementa un ciclo che ad ogni passaggio somma il valore dell'indice del ciclo alla somma. Il programma memorizza anche in una seconda variabile il doppio di questo valore.
- **Il programma ha un (semplice) bug.** Utilizzare il debugger per comprendere il bug presente
- Utilizzare il debugger, in tutte le sue funzionalità, per
  - Analizzare lo stack trace, cioè la sequenza delle funzioni chiamate
  - Analizzare il comportamento del debugger nelle funzioni **step into** e **step over**
  - **Seguire i valori delle variabili durante l'esecuzione per comprendere la natura dell'errore.**

Debugger - Esercitazione

```
#include <stdio.h>
int somma(int a, int b); // prototipo di funzione

int main() {
        int totale = 0;  int doppioTotale = 0;

        for(int i=0; i<10; i++) {
                totale = somma(totale, i);
                doppioTotale = somma(doppioTotale, i) * 2;
        }

        printf("Totale:%d\n", totale);
        printf("Doppio Totale:%d\n", doppioTotale);
}

int somma(int a, int b) {
        return a+b;
}
```