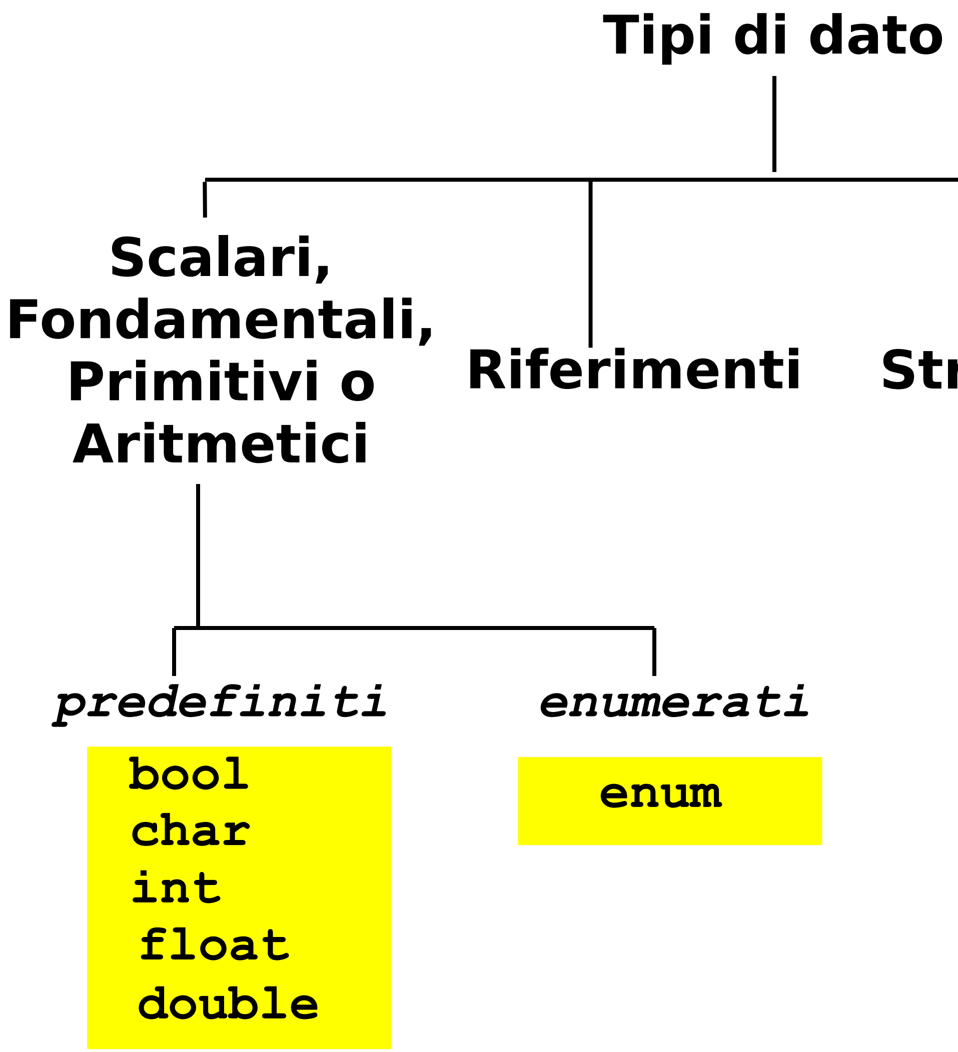
Lezione 10

Tipo enum
Tipi float e double
Tipi e conversioni di tipo

Tipi di dato primitivi

- **Enumerati** (`enum`)
- **Numeri reali** (`float` e `double`)
- **Tipi e conversioni di tipo**
  - Completamento dell'argomento aperto con le conversioni di tipo esplicite nella precedente lezione

Tipi di dato


Tipi di dato
Scalari, Fondamentali, Primitivi o Aritmetici
Riferimenti
Strutturati
Puntatori
predefiniti
enumerati
bool
char
int
float
double
enum

Analisi funzione

```
void fun(int i)
{
 if (i == 3)
      cout<<"Turno: mattino e pomeriggio";
 else
      cout<<"Turno: solo mattino";
}
```

- E' facile capire il senso o lo scopo di questa funzione?
- Il tipo del parametro formale ci aiuta a capire il senso della funzione?

Proposta

- No, il tipo è troppo **generico**
- Supponiamo invece che esista un tipo di dato chiamato **`giorno_lavorativo`**
  - I cui unici valori possibili sono le costanti: **`lunedi martedi mercoledi giovedi venerdi`**
- E supponiamo di riscrivere la funzione utilizzando tale tipo di dato

Nuova versione

```
void fun(giorno_settimana i)
{
 if (i == giovedi)
      cout<<"Turno: mattino e pomeriggio";
 else
      cout<<"Turno: solo mattino";
}
```

- Adesso è immediato capire che la funzione serve a stampare dei turni di lavoro in base al giorno della settimana!
- Questo non è l'unico vantaggio del disporre del nuovo tipo di dato che stiamo 'inventando'

Domanda

- Quando, nella precedente funzione, la condizione nell'**`if`** è falsa, cosa sappiamo di certo sul valore del parametro formale **`i`**?

Risposta e nuova domanda

- Che i possibili valori della variabile sono **solo** i giorni della settimana diversi da giovedì
- Non è quindi possibile, per errore, passare un valore del parametro formale che non sia uno dei giorni lavorativi
- Abbiamo la stessa certezza nel caso in cui **i** sia di tipo **`int`**?

Risposta

- No
- Se `i != 3`, non abbiamo nessuna garanzia che il suo valore sia correttamente uguale al valore di uno degli altri giorni della settimana
  - Il valore di **i** potrebbe essere troppo grande o perfino negativo!
- I due problemi di leggibilità e correttezza appena visti sono alla base dell'introduzione del tipo enumerato ...

Tipo enumerato 1/2

- **Insieme di costanti** intere definito dal programmatore
  - ciascuna individuata da un identificatore (nome) e detta **enumeratore**
- Esempio di dichiarazione:

```
enum colori_t {rosso, verde, giallo} ;
```

  - dichiara un tipo enumerato di nome **`colori_t`** e tre costanti intere (enumeratori) di nome **`rosso`**, **`verde`** e **`giallo`**
  - gli oggetti di tipo **`colori_t`** potranno assumere come valori solo quelli dei tre enumeratori
  - agli enumeratori sono assegnati numeri interi consecutivi a partire da zero, a meno di inizializzazioni esplicite (che vedremo fra poco)

Tipo enumerato 2/2

- Rimanendo sull'esempio della precedente slide
  - mediante il tipo **`colori_t`** sarà possibile definire nuovi oggetti mediante delle definizioni, con la stessa sintassi usata per i tipi predefiniti
  - Così come si può scrivere
    `int a ;`
    si potrà anche scrivere
    `colori_t a ;`
    - il cui significato è quello di definire un oggetto di nome **`a`** e di tipo **`colori_t`**
  - I valori possibili di oggetti di tipo **`colori_t`** saranno quelli delle costanti **`rosso`**, **`verde`** e **`giallo`**
  - Quindi l'oggetto **`a`** definito sopra potrà assumere solo i valori **`rosso`**, **`verde`** e **`giallo`**

Sintassi

- Dichiarazione di un tipo enumerato:

<dichiarazione_tipo_enumerato> ::=
enum <identificatore> { <lista_dich_enumeratori> } ;

<lista_dich_enumeratori> ::=
<dich_enumeratore> { , <dich_enumeratore> }

<dich_enumeratore> ::=
<identificatore> [= <espressione>]

Ripetuto zero o più volte

Ripetuto zero o una volta

Inizializzazione e visibilità

- Come già detto agli enumeratori sono associati per default valori interi consecutivi a partire da 0 Esempio: gli enumeratori del precedente tipo **`colori_t`** valgono 0 (**`rosso`**), 1 (**`verde`**) e 2 (**`giallo`**)
- La dichiarazione dell'identificatore di un tipo enumerato segue le stesse regole di visibilità di una generica dichiarazione
- Nel campo di visibilità dell'identificatore di un tipo enumerato
  - si possono utilizzare i suoi enumeratori
  - si può utilizzare il nome del tipo per definire variabili di quel tipo
  - Esempio:

```
colori_t c ;
colori_t d = rosso ;
```

Esercizio

- Svolgere l'esercizio *stampa_enum.cc* della settima esercitazione

Note sui tipi enumerati 1/2

- Attenzione, se si dichiara una variabile o un nuovo enumeratore con lo stesso nome di un enumeratore già dichiarato, da quel punto in poi si perde la visibilità del precedente enumeratore.
- Esempio:

```
enum Giorni {lu, ma, me, gi, ve, sa, do} ;
enum PrimiGiorni {do, lu, ma, gi} ;
// da qui in poi non si vedono più gli enumeratori
// lu, ma, gi e do del tipo Giorni
```

- Un tipo enumerato è totalmente ordinato. Su un dato di tipo enumerato sono applicabili tutti gli operatori relazionali. Continuando i precedenti esempi:
  - **`lu < ma`** → vero
  - **`lu >= sa`** → falso
  - **`rosso < giallo`** → vero

Note sui tipi enumerati 2/2

- Se si vuole, si possono inizializzare a piacimento le costanti:

```
enum Mesi {gen=1, feb, mar, ... }    ;
      // Implica: gen = 1, feb = 2, mar = 3, ...
enum romani { i=1, v = 5, x = 10, c = 100 }    ;
```

- E' possibile definire direttamente una variabile di tipo enumerato, senza dichiarare il tipo a parte
  <*definizione_variabile_enumerato*> ::=
  enum { <*lista_dich_enumeratori*> **}** <*identificatore*> ;
  - Esempio: **`enum {rosso, verde, giallo} colore ;`**
  - Nel campo di visibilità della variabile è possibile utilizzare sia la variabile che gli enumeratori dichiarati nella sua definizione

Occupazione di memoria

- Lo spazio esatto occupato in memoria da un oggetto di tipo enumerato dipende dal compilatore
  - Tipicamente: stessa occupazione di memoria (in numero di byte) del tipo **`int`**
- Per un dato tipo enumerato, l'insieme di valori possibili è però ovviamente limitato ai suoi soli enumeratori
- Se un dato programma per funzionare correttamente ha bisogno che gli enumerati occupino un determinato spazio in memoria
  - Tale programma funziona solo se il compilatore con cui è compilato rispetta tale assunzione
  - Il programma non è quindi portabile

Controllo nelle operazioni 1/2

- Se non si effettuano mai operazioni tra enumerati ed oggetti di altro tipo (ad esempio interi), non si corrono i seguenti rischi
  - un oggetto di tipo enumerato contiene un valore diverso da uno dei suoi enumeratori
  - un programma fa affidamento sul valore esatto di qualche enumeratore, e quindi non è più corretto se tale valore cambia
- Inoltre il compilatore aiuta il programmatore a non commettere l'errore di assegnare valori impropri ad un oggetto di tipo enumerato
  - Infatti proibisce di assegnare ad un oggetto di tipo enumerato un valore di tipo diverso dal tipo dell'oggetto enumerato stesso
  - Ad esempio, l'istruzione
    `colore_t c = 100;`
    causa un errore a tempo di compilazione

Controllo nelle operazioni 2/2

- Però sono lecite operazioni pericolose tipo:

```
colore_t c = static_cast<colore_t>(100);

if (rosso == 1) cout<<"Uguale ad 1"<<endl;

enum soprannome_t {tizio, caio};
if (caio < verde) cout<<"caio < verde"<<endl;
```

- Il fatto che tali operazioni siano legali viola la tipizzazione forte che si cerca di garantire nel linguaggio C++

- Questo problema è affrontato nello standard C++11 nel modo seguente

enum class in C++11 1/3

- A partire dallo standard C++11, è stato introdotto un nuovo tipo di dato, denotato come **`enum class`**
- La sintassi della dichiarazione di un nuovo tipo **`enum class`** è la seguente

  <dichiarazione_tipo_enumeration> ::=
  `enum class` *<identificatore>* **`{`***<lista_dich_enumeratori>***`}`** **`;`**
- Identica alla dichiarazione di un nuovo tipo **`enum`**, a parte l'aggiunta della parola chiave **`class`**

enum class in C++11 2/3

- La sintassi della definizione di oggetti di tipo **`enum class`** è identica a quella della definizione di oggetti di tipo **`enum`**
- Esempio
```
enum class colore2_t {blu, nero, bianco};
colore2_t col;
```
- A differenza del tipo **`enum`**, per utilizzare un enumeratore di un dato tipo **`enum class`**, bisogna aggiungere come prefisso il nome del tipo seguito da `::`
  - Esempi (data la dichiarazione nel precedente esempio)
```
cout<<blu; // ERRATO
cout<<colore2_t::blu; // CORRETTO
```
  - Questo permette a due o più tipi enumerati di avere gli enumeratori con lo stesso nome senza che sorgano problemi di compilazione o ambiguità

enum class in C++11 3/3

- L'altro grande vantaggio in termini di controllo di tipo è che con i tipi **`enum class`** non è possibile alcuna delle operazioni pericolose permesse con il tipo **`enum`**
  - Non è però possibile neanche stampare un oggetto di tipo **`enum class`** passandolo semplicemente all'operatore **`<<`**
- Il tipo **`enum class`** permette infine di decidere anche esattamente il tipo di dato sottostante, ossia il tipo di dato utilizzato per memorizzare i valori degli enumeratori
  - Si può quindi di decidere anche quanta memoria viene occupata dagli oggetti di un dato tipo **`enum class`**
  - Non vediamo la relativa sintassi in questo corso

Utilizzo enum class

- Elemento importante da considerare per decidere se utilizzare il tipo **`enum class`** oppure no
  - Se utilizzate **`enum class`** il programma non è compilabile con i compilatori che non supportano (ancora) lo standard C++11

Esercizio

- Svolgere l'esercizio *giorni_lavoro.cc* della settima esercitazione

Benefici del tipo enumerato

- Decisamente migliore leggibilità
- Indipendenza del codice dai valori esatti e dal numero di costanti (enumeratori)
  - <u>Conseguenze importantissime:</u>
    - se cambio il valore di un enumeratore, non devo modificare il resto del programma
    - posso aggiungere nuovi enumeratori senza dover necessariamente modificare il resto del programma
- Maggiore robustezza agli errori
  - Se si usano solo gli enumeratori **non è praticamente possibile usare valori sbagliati**
- Quindi: impariamo da subito ad <u>utilizzare gli enumerati e non gli interi</u> **ovunque i primi siano più appropriati dei secondi**

Tipi di dato primitivi

- **Enumerati** (`enum`)
- **Numeri reali** (`float` e `double`)
- **Tipi e conversioni di tipo**
  - Completamento dell'argomento aperto con le conversioni di tipo esplicite nella precedente lezione

Numeri reali

- In C/C++ si possono utilizzare numeri con una componente frazionaria (minore dell'unità)
- Ad esempio:

  `24.2` **`.5`**

- Tali numeri sono comunemente chiamati reali

Letterali reali

- Si possono utilizzare i seguenti formati:

  `24.0` **`.5`**

  `2.4e2` $= 2.4*10^2$ **`240.0e-1`** $= 240.0*10^{-1}$

- La notazione scientifica è utile per scrivere numeri molto grandi o molto piccoli
- Per indicare che una costante letterale è da intendersi come reale anche se non ha cifre dopo la virgola, si può terminare il numero con un punto

  Esempio:

  `123.`

Operatori reali

Operatori aritmetici	**Tipo del risultato**
`+` `-` `*` `/`	`float` o `double`

Attenzione: la divisione è quella <u>reale</u>

Operatori relazionali

`==` `!=`	`bool` (`int` in C)
`<` `>` `<=` `>=`	`bool` (`int` in C)

Esempi

5. / 2.	==	2.5
2.1 / 2.	==	1.05
7.1 > 4.55	==	**true**, oppure 1 in C

Stampa numeri reali 1/2

- Come sappiamo, quando si inserisce un numero di tipo **`int`** sull'oggetto *cout* mediante l'operatore <<, viene immessa sullo *stdout* la sequenza di caratteri e cifre che rappresenta quel numero
  - Lo stesso vale per i numeri reali
- L'esatta sequenza di caratteri dipenderà da come è configurato l'oggetto *cout* (vedremo meglio in seguito)
  - Ad esempio, nella configurazione di default dell'oggetto di *cout*, la seguente riga di codice
    `cout<<-135.3 ;`
    immette sullo *stdout* la sequenza di caratteri:
    `-135.3`

Stampa numeri reali 2/2

- In particolare, stampa solo un numero di cifre dopo la virgola ragionevole
- Il numero stampato può quindi non coincidere col numero in memoria

Numeri reali

- Come ogni altro tipo di dato (interi, booleani, caratteri, enumerati), anche i numeri reali sono memorizzati sotto forma di sequenze di bit
  - Più in particolare, così come un numero di tipo **int**, un numero reale è memorizzato in una sequenza di celle di memoria contigue
- Quante celle di memoria sono utilizzate e quali configurazioni di bit sono memorizzate in tali celle dipende dallo schema con cui il numero è rappresentato in memoria e dalla precisione desiderata
- Come stiamo per vedere nelle seguenti slide ...

Rappresentazioni numeri reali

- Esistono tipicamente due modi per rappresentare un numero reale in un elaboratore:
  - **Virgola fissa:** Numero massimo di cifre intere e decimali deciso a priori
    - Esempio: se si utilizzano 3 cifre per la parte intera e 2 per la parte decimale, si potrebbero rappresentare i numeri:
      213.78 184.3 4.21
      ma non
      2137.8 3.423 213.2981
  - **Virgola mobile:** Numero massimo <u>totale</u> di cifre, intere e decimali, deciso a priori, ma <u>posizione della virgola libera</u>
    - Esempio: se si utilizzano 5 cifre in totale, si potrebbero rappresentare tutti i numeri del precedente esempio in virgola fissa, ma anche
      213.78 2137.8 .32412 12617.
      ma non
      .987276 123.456 1.321445

Componenti virgola mobile

- Si decide a priori il numero massimo di cifre perché questo permette una rappresentazione abbastanza semplice dei numeri in memoria, nonché operazioni più veloci
- Un numero reale è rappresentato (e quindi memorizzato) di norma mediante tre componenti:
  - **Segno**
  - **Mantissa** (*significand*), ossia le cifre del numero
  - **Esponente** in base 10:
- A parte il segno, il numero si immagina nella forma *mantissa* * $10^{esponente}$
  - Tipicamente la mantissa è immaginata come un numero a virgola fissa, con la virgola posizionata sempre subito prima (o in altre rappresentazioni subito dopo) della prima cifra diversa da zero

Calcolo rappresentazione 1/2

- La mantissa di un numero reale si ottiene semplicemente spostando la posizione della virgola del numero di partenza
- Partiamo per esempio dal numero 12.3
  - La virgola si trova subito dopo la seconda cifra
  - Per arrivare da questo numero ad una mantissa che abbia la virgola subito prima della prima cifra, spostiamo la virgola di due posizioni verso sinistra
    - Otteniamo .123
  - Per ottenere infine la rappresentazione di 12.3 nella forma *mantissa* * $10^{esponente}$, ossia nella forma .123 * $10^{esponente}$, dobbiamo trovare il valore corretto dell'esponente
    - Tale valore è uguale al numero di posizioni di cui abbiamo spostato la virgola, ossia 12.3 = .123 * 10^2

Calcolo rappresentazione 2/2

- In generale,
  - Se la mantissa è ottenuta spostando la virgola di *n* posizioni **verso sinistra**, allora l'esponente è uguale ad *n*
    - Come nel precedente esempio
  - Se la mantissa è ottenuta spostando la virgola di n posizioni **verso destra**, allora l'esponente è uguale a *-n*
    - Ad esempio, la mantissa di .0123 è .123, ottenuta spostando la virgola di una posizione verso destra, e la rappresentazione del numero è quindi $.123 * 10^{-1}$

Esempi

- La notazione scientifica, già vista nell precedenti slide, torna utile per evidenziare le precedenti componenti nella rappresentazione di un numero reale:

  *mantissa***e***esponente = mantissa*10*^{esponente}

- Esempi:

Numero	Notazione Scientifica	Segno	Mantissa	Esponente
123	.123e3	+	.123	3
0.0123	.123e-1	+	.123	-1
0.123	.123e0	+	.123	0
-1.23	-.123e1	-	.123	1

Domanda

- Perché memorizzare nella mantissa solo numeri con la prima cifra dopo la virgola diversa da zero?

Risposta

- Per non sprecare bit per memorizzare tali cifre a 0
- Si riesce comunque a riottenere il numero originale giocando opportunamente con l'esponente

Tipi float e double

- Nel linguaggio C/C++ i numeri reali sono rappresentati mediante i tipi **`float`** e **`double`**
  - Sono numeri in <u>virgola mobile</u>
  - Mirano a rappresentare (con diversa precisione) **un sottoinsieme** dei numeri reali
  - I tipi **`float`** e **`double`** (così come **`int`** per gli interi), sono solo <u>un'approssimazione dei numeri reali</u>, sia come
    - **precisione**, ossia numero di cifre della mantissa
      - torneremo più in dettaglio sul concetto di precisione a breve
    - sia come **intervallo** di valori rappresentabili
  - Vedremo a breve i valori precisi in gioco

Esercizio

- Svolgere *divis_reale.cc* della settima esercitazione
- Nel caso di numeri con un alto numero di cifre dopo la virgola, o addirittura numeri decimali periodici
  - Viene stampato un alto numero di cifre dopo la virgola?
- Probabilmente no
- Si può controllare tale aspetto della formato di stampa mediante la funzione descritta nella prossima slide

Manipolatore setprecision

`setprecision``(`<*numero_cifre*>`)`

Setta il massimo numero di cifre per un numero in virgola mobile

- Bisogna includere **`<iomanip>`**
- L'effettivo output dipende dal formato (generale, scientifico, fisso)
- L'effetto è *persistente*: influenza tutte le prossime operazioni di uscita, fino alla prossima eventuale chiamata di *setprecision*

Esercizio

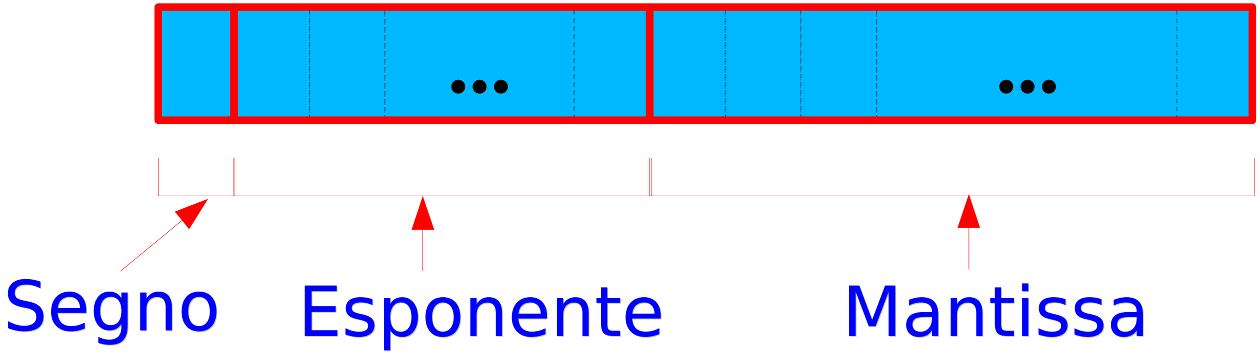
- Utilizzando il manipolatore **setprecision**, modificare la soluzione del precedente esercizio per stampare molte più cifre dopo la virgola

IEEE 754

- I numeri **`float`** e **`double`** sono tipicamente rappresentati/memorizzati in conformità allo standard IEEE 754
    - Fondamentalmente, sia la mantissa che l'esponente sono memorizzati in base 2 e non in base 10
- Quindi, un numero **`float`** o **`double`** è di fatto rappresentato in memoria nella forma
  $mantissa * 2^{esponente}$
- In particolare: ...

Rappresentazione in memoria

- Un numero **`float`** o **`double`** è memorizzato come una sequenza di bit:



- Tale sequenza di bit occupa tipicamente più celle contigue in memoria

Domanda

- Come si potrebbero rappresentare esponenti di valore negativo nella precedente rappresentazione dei numeri reali?

Offset 1/2

- Si potrebbe adottare il complemento a 2
  - Non è questa la soluzione effettivamente adottata
- Invece di memorizzare il valore effettivo dell'esponente *exp*
  - Si memorizza il risultato delle seguente somma *exp* + *offset*
  - *offset* è un numero intero predefinito, tale che il risultato della somma di sopra è garantito essere maggiore o uguale a 0
    - Questo implica che *exp* è vincolato ad essere maggiore di *-offset*
  - In particolare, nello standard IEEE 754, si rappresentano esponenti compresi tra *-offset* e +*(offset-1)*

Offset 2/2

- Quindi, dato il numero *num* memorizzato nel campo esponente
  - L'esponente effettivo è il risultato della seguente sottrazione
    num – offset
- Nello standard IEEE 754, il valore massimo per *num* è pari a +2**offset-1*

Domande

- Quali sono e come vengono memorizzati, con la precedente rappresentazione con *offset*,
  - Esponente minimo rappresentabile
  - Esponente massimo rappresentabile
  - Esponente di valore 0

Risposte

- Esponente minimo: *-offset*
  - Memorizzato come
    - offset + offset = 0
- Esponente massimo: +*(offset-1)*
  - Memorizzato come
    +(offset-1) + offset = 2offset - 1
- Esponente 0
  - Memorizzato come
    0 + offset = offset

Dettagli sulla mantissa 1/2

- Anche la mantissa differisce leggermente da quella illustrata finora
- Si utilizza una tecnica che permette di risparmiare un ulteriore bit
  - In base 2, la prima cifra della mantissa, dovendo essere diversa da 0, è uguale **esattamente** ad 1
  - Quindi se ne conosce già il valore
  - Allora tale cifra non si memorizza affatto
  - Si memorizzano solo le cifre successive

Dettagli sulla mantissa 2/2

- Infine, invece di memorizzare un numero che si assume avere la virgola subito prima della prima cifra
  - Si assume che la virgola sia *subito dopo* la precedente cifra uguale ad 1
- Quindi, in base 2, la mantissa ha la forma *1.xxxxxxxx*
- E si memorizzano solo la sequenza di cifre binarie *xxxxxxxx* riportata sopra

Esercizio 1/3

- http://www.h-schmidt.net/FloatConverter/IEEE754.html
  - Si tratta di numeri a precisione singola (float)
- Esperimenti
  - Provare a settare e resettare il bit del segno
  - Cercare la configurazione di bit che fa sì che l'esponente sia 0
  - Trovare la configurazione di bit che rappresenta il numero 1.5
    - Suggerimenti nella prossima slide

Esercizio 2/3

- Suggerimenti
  - 1.5 è uguale ad 1 + ½
  - La prima cifra della mantissa è implicitamente 1
  - In quanto all'esponente, ricordiamoci la banale identità 2^0 = 1
    - In merito abbiamo appena visto come memorizzare il valore 0 per l'esponente
- Altro esercizio
  - Cercare la rappresentazione di 0.1
    - Suggerimento nella prossima slide

Esercizio 3/3

- Scrivete direttamente 0.1 nel campo “Decimal Representation” e premete invio
- Il valore che viene memorizzato è la rappresentazione esatta di 0.1?
  - Per rispondere alla domanda, guardate il contenuto del campo “After casting to double precision”
  - Torneremo su questo argomento a breve ….

Precisione

- Definiamo **precisione** *P* di un tipo di dato numerico in una data base *b* come il numero massimo di cifre in base *b* tali che qualsiasi numero rappresentato da *P* cifre è rappresentabile in modo esatto con tale tipo di dato
  - Indipendentemente da dove si colloca la virgola in tale rappresentazione
- Esempi in base 10
  - un tipo di dato che possa contenere **tutti** i numeri interi da 0 a 9999, ha una precisione in base 10 uguale a 4
    - Ossia di 4 cifre decimali
  - un tipo di dato che possa contenere **tutti** i numeri in virgola fissa da 0.00 a 9.99 ha una precisione in base 10 uguale a 3 (ossia di tre cifre decimali)

Valori tipici per float a double

(non necessariamente validi per tutte le architetture)

Tipo	Precisione	Intervallo di valori assoluti
`float`	6 cifre decimali	$3.4*10^{-38}$ ... $3.4*10^{38}$
`double`	15 cifre decimali	$1.7*10^{-308}$ ... $1.7*10^{308}$

Occupazione di memoria:

`float`	4 byte
`double`	8 byte
`long double`	10 byte

Domanda

- Si possono rappresentare TUTTI i numeri reali inclusi negli intervalli riportati per i **double** ed i **float** nella precedente slide?

Risposta

- No
- A causa della precisione limitata vi sono numeri reali che, pur ricadendo in tali intervalli, non sono rappresentabili con un **double** o un **float**
- Esempio
  - Siccome la precisione di un **float** è di sole 6 cifre in base 10, allora si può rappresentare il numero

    141231 che, **ipotizzando per semplicità rappresentazione in base 10**, sarebbe memorizzato come .141234e6

    ma non il numero

    1412313 oppure 176471621

Domanda

- Come si riescono allora a rappresentare, con il tipo **double** o **float**, numeri con un numero di cifre più grande della precisione di cui si dispone?

Risposta

- Sfruttando l'esponente
- Ad esempio, il tipo **float** permette di rappresentare numeri con 38 cifre decimali dopo lo zero
- Ma solo le prime 6 cifre decimali possono essere l'una diversa dall'altra
- **Ipotizzando per semplicità rappresentazione in base 10**, le cifre restanti possono essere solo un gran numero di zeri, che si possono aggiungere assegnando un valore molto elevato all'esponente
- Esempio: **ipotizzando per semplicità rappresentazione in base 10**, in un numero di tipo **float** si potrebbe memorizzare
  121323000000000000 nella forma .121323e18
  ma non si potrebbe memorizzare in modo esatto
  121323231000000000

Domanda

- Come è memorizzato quindi l'ultimo numero?

Problemi di rappresentazione 1

- Siccome il numero di cifre utilizzate per rappresentare un numero reale è limitato
- Se un numero reale ha più cifre di quelle che si possono rappresentare, allora avviene un **troncamento**
- Esempio: Il numero 290.00124
  - se si avessero massimo 6 cifre diverse a disposizione (come col tipo **float**) potrebbe essere rappresentato come .290001e+3
  - Tuttavia, questa rappresentazione trasformerebbe il numero originario
    290.00124 → 290.001
  - In molte applicazioni questa approssimazione non costituisce un problema, ma in altre applicazioni, come ad esempio quelle di calcolo scientifico, costituisce una **seria fonte di errori**

Problemi di rappresentazione 2

- Il numero di cifre limitato non è l'unica fonte di problemi di rappresentazione
- Ad esempio, come si può rappresentare 0.1 nella forma *mantissa* $* \ 2^{esponente}$ con la mantissa rappresentata in base 2?
  - Bisogna trovare una coppia mantissa/esponente opportuna
- In merito, consideriamo che si possono rappresentare numeri minori di 1 in base 2 utilizzando la notazione a punto così come si fa per la base 10
  - Ad esempio:
    $[0.1]_2 = [0 + 1*2^{-1}]_{10}$=0.5 $[0.01]_2 = [0 + 0*2^{-1} + 1 * 2^{-2}]_{10}$
  - Ma $[0.1]_{10} = [10^{-1}]_{10} = [1/10]_{10} = [1/(2*\mathbf{5})]_{10} = [???]_2$

Risposta

- Ogni numero frazionario, ossia minore dell'unità, che sia rappresentato da una qualsiasi sequenza di cifre dopo la virgola in base 2, è uguale alla somma di numeri razionali con una potenza di 2 al denominatore (uno per ogni cifra)
  - In totale è quindi uguale ad un numero razionale con una potenza di 2 al denominatore
- Quindi solo i numeri razionali frazionari che hanno una potenza di 2 al denominatore si possono esprimere con una sequenza finita di cifre binarie
- $[0.1]_{10}$ non si può scrivere come un numero razionale con una potenza di 2 al denominatore (perché 10 = 2 * **5**)
- Quindi **non esiste nessuna rappresentazione finita in base 2** di $[0.1]_{10}$
  - Tale numero sarà pertanto **necessariamente memorizzato in modo approssimato**

Numero di cifre e precisione

- Attenzione quindi a non confondere l'alto numero di cifre che può avere un numero di tipo **float** o **double**, con il numero di cifre che determinano la <u>precisione</u> di tali tipi di dato

Domanda

- Da cosa è determinata la precisione del tipo **float** o **double** in una qualsiasi base?
- In particolare, a cosa è uguale la precisione in base 2 del tipo **float** e del tipo **double**?

Precisione reali

- Dal numero di cifre della mantissa
- In particolare, la precisione in base 2 è uguale al numero di cifre della mantissa
  - Più 1, per la cifra non memorizzata

Domanda

- Qual è la precisione in base 2 del tipo **int** supponendo che sia memorizzato in complemento a 2 su 32 bit?

Precisione in base 2 degli interi

- 31
- Uno dei 32 bit, quello più significativo, è utilizzato in pratica per determinare il segno del numero
- Sono i restanti 31 bit che in sostanza si usano per le cifre sia dei numeri positivi che dei numeri negativi rappresentabili
- In generale, la precisione di un tipo intero i cui valori sono rappresentati in complemento a due è uguale al numero di cifre binarie con cui sono rappresentati tali valori, meno uno

Conversione da reale ad intero

- La conversione da reale a intero è tipicamente effettuata per *troncamento*
  - Si conserva cioè solo la parte intera del numero di partenza
- Il valore convertito dovrà appartenere a qualcuno dei tipi numerabili (int, char ed altri che vedremo)
  - Se il numero di partenza è troppo grande, si verifica un *overflow* all'atto della conversione verso uno di tali tipi integrali
  - Torneremo su questo ed altri problemi legate alle conversioni tra reali ed interi (e viceversa) nelle prossime slide

Esercizio

- Svolgere *reale_int.cc* della settima esercitazione

Operazioni tra reali ed interi

- Se si esegue una operazione tra un oggetto di tipo **int**, **enum** o **char** ed un oggetto di tipo reale, si effettua di fatto la variante reale dell'operazione
  - In particolare, nel caso della divisione, si effettua la divisione reale
- Vedremo in seguito il motivo ...
- Svolgere a casa l'esercizio *divis_reale2.cc*

Domanda

- Come è rappresentato, in modo esatto, il valore 0 in un float o in un double?

Risposta

- In nessun modo
  - La mantissa, per definizione, ha la prima cifra **diversa** da 0
  - Quindi la mantissa non potrà **mai** essere uguale a 0
- Lo 0 è rappresentato quindi in modo approssimato
  - Mediante il numero più piccolo rappresentabile
  - Ossia con una <u>sequenza di bit tutti a 0</u>

Esercizio

- Sulle slide della settima esercitazione
  - *ascensore.cc*
  - Se non riuscite a realizzare correttamente il programma richiesto in *ascensore.cc*, allora, prima di guardare la soluzione, guardate la prossima slide e riprovate

Confronto approssimato

- Ovviamente possono verificarsi errori dovuti al troncamento o all’arrotondamento di alcune cifre decimali anche nell'esecuzione delle operazioni
- In generale, meglio evitare l’uso dell’operatore **==**
  - I test di uguaglianza tra valori reali (in teoria uguali) potrebbero non essere verificati
  - Ad esempio, non sempre vale:
    `(x / y) * y  ==  x`
- Meglio utilizzare "un margine accettabile di errore":
  - **`x == y`** → **`(x <= y+epsilon) && (x >= y-epsilon)`**
    dove, ad esempio,
    `const double epsilon = 1e-7 ;`
- Quale margine scegliere?
  - Dipende dal problema che si sta risolvendo

Riassunto errori comuni

- Confusione tra divisione fra interi e divisione fra reali
  - Stesso simbolo /
  - Ma differente significato
- Tentativo di uso dell’operazione di modulo (%) con numeri reali, per i quali non è definita
- Uso erroneo dell'operatore di assegnamento (=) al posto dell'operatore di uguaglianza (==)

Tipi di dato primitivi

- **Enumerati** (`enum`)
- **Numeri reali** (`float` e `double`)
- **Tipi e conversioni di tipo**
  - Completamento dell'argomento aperto con le conversioni di tipo esplicite nella precedente lezione

Tipi primitivi 1/4

- Tipi interi — Dimensioni tipiche
  - `int` (32 bit)
  - `short int` (o solo `short`) (16 bit)
  - `long int` (o solo `long`) (64 bit)
- Tipi naturali
  - `unsigned int` (o solo `unsigned`) (32 bit)
  - `unsigned short int` (o solo `unsigned short`) (16 bit)
  - `unsigned long int` (o solo `unsigned long`) (64 bit)
- Un oggetto *unsigned* ha **solo valori maggiori o uguali di 0**

Tipi primitivi 2/4

- Per la precisione, il tipo **`long int`** è garantito avere almeno le stesse dimensioni del tipo **`int`**
- Siccome il tipo **`int`** è tipicamente su 32 bit, questo ha portato al problema che su molti compilatori il tipo **`long int`** è a 32 bit, mentre su altri è a 64 bit
- Per evitare tale problema, a partire dallo standard C++11, è disponibile anche il tipo **`long long int`**
  - E' garantito avere almeno le stesse dimensioni del tipo **`int`**, ma non meno di 64 bit

Tipi primitivi 3/4

- Tipo carattere — Dimensioni tipiche
  - **`char`** (8 bit)
  - **`signed char`** (8 bit)
  - **`unsigned char`** (8 bit)
  - Come già discusso, a seconda delle implementazioni **`char`** è implicitamente **`signed`** (può avere anche valori negativi) o **`unsigned`**
- Tipo reale
  - **`float`** (32 bit)
  - **`double`** (64 bit)
  - **`long double`** (80 bit)

Tipi primitivi 4/4

- Tipo booleano
  - **`bool`**
- Tipo enumerato
  - **`enum`** *<nome_tipo>* **`{`***<lista_nomi_costanti>***`}`**
  - A partire dallo standard C++11, anche
    - **`enum class`** *<nome_tipo>* **`{`***<lista_nomi_costanti>***`}`**

Compendio espressioni letterali

- Mediante i seguenti suffissi si possono scrivere espressioni letterali dei seguenti tipi:
  - U → unsigned int Es.: 3U
  - UL → unsigned long Es.: 3212UL
  - ULL → unsigned long long Es.: 1231ULL

Domanda

- Che succede se si decrementa di una unità una variabile di tipo **`unsigned int`** oppure **`unsigned char`** che contiene il valore 0?

Risposta

- Si ha un overflow !!!!
  - Per il momento diciamo che nella variabile finisce un valore casuale
  - Tale valore casuale potrebbe essere minore di 0?

Risposta

- No
  - Qualsiasi configurazione di bit utilizzata per rappresentare un numero senza segno rappresenta sempre un numero positivo o nullo

Precisazione unsigned

- In effetti, tecnicamente, con i tipi discreti e senza segno non c'è overflow
  - Perché le operazioni sono effettuate modulo il valore massimo per il tipo di dato
- Ad esempio, se MAX_UINT è una costante di tipo **`unsigned int`** contenente il valore massimo per il tipo **`unsigned int`**, allora
  - MAX_UINT + 1U = 0
  - 0 – 1 = MAX_UINT
  - MAX_UINT + 2U = 1
  - ...

Limiti 1/3

- In C++, includendo **`<limits>`** si possono utilizzare le seguenti espressioni:

numeric_limits<nome_tipo>::min()

valore minimo per il tipo nome_tipo

numeric_limits<nome_tipo>::max()

valore massimo per il tipo nome_tipo

numeric_limits<nome_tipo>::digits

numero di cifre in base 2

numeric_limits<nome_tipo>::digits10

numero di cifre in base 10

numeric_limits<nome_tipo>::is_signed

true se nome_tipo ammette valori negativi

numeric_limits<nome_tipo>::is_integer

true se nome_tipo e' discreto (int, char, bool, enum, ...)

Limiti 2/3

- Le seguenti informazioni hanno significato per i numeri in virgola mobile:

numeric_limits<nome_tipo>::epsilon()

minimo valore tale che 1 + epsilon != 1

numeric_limits<nome_tipo>::round_error()

errore di arrotondamento

numeric_limits<nome_tipo>::min_exponent

esponente minimo in base 2, cioè valore minimo esp, tale che il numero di possa scrivere nella forma m*(2^esp)

numeric_limits<nome_tipo>::min_exponent10

esponente minimo in base 10, cioè valore minimo esp, tale che il numero di possa scrivere nella forma m*(10^esp)

Limiti 3/3

... continua per i numeri in virgola mobile:

numeric_limits<nome_tipo>::max_exponent

esponente massimo in base 2, cioè valore massimo esp, tale che il numero di possa scrivere nella forma m*(2^esp)

numeric_limits<nome_tipo>::max_exponent10

esponente massimo in base 10, cioè valore massimo esp, tale che il numero di possa scrivere nella forma m*(10^esp)

- Esercizio: *limiti.cc* della settima esercitazione

Espressioni eterogenee

- Non ci sono dubbi sul comportamento di un operatore fin quando tutti i suoi operandi sono dello stesso tipo, ossia sono, come si suol dire, **omogenei**
- Ma cosa succede, per esempio, con l'operatore di assegnamento se un valore di un certo tipo viene assegnato ad una variabile di un tipo diverso?
- E cose succede con un qualsiasi altro operatore binario se viene invocato con due argomenti di tipo diverso?
- Nomenclatura: nei precedenti due casi siamo in presenza di operandi di tipo **eterogeneo**
- In generale, definiamo eterogenea una espressione che contenga fattori o termini di tipo eterogeneo

Conversioni di tipo

- In presenza di operandi eterogenei per un dato operatore si hanno due possibilità:
  - Il programmatore inserisce **conversioni esplicite** per rendere gli operandi omogenee
  - Il programmatore non inserisce conversioni esplicite
    - In questo caso
      - se possibile, il compilatore effettua delle **conversioni implicite** (**coercion**),
      - oppure segnala errori di incompatibilità di tipo e la compilazione fallisce

Coercion

- Il C/C++ è un linguaggio a *tipizzazione forte*
  - Ossia il compilatore controlla il tipo degli operandi di ogni operazione per evitare operazioni illegali per tali tipi di dato o perdite di informazione
- Le conversioni implicite di tipo che non provocano perdita sono effettuate dal compilatore senza dare alcuna segnalazione
- Tuttavia, le conversioni implicite che possono provocare perdita di informazioni **non sono illegali**
  - Vengono tipicamente segnalate mediante ***warning***
- In generale le conversioni implicite avvengono a tempo di compilazione in funzione di un ben preciso insieme di regole
  - Vediamo prima le regole in caso di operandi eterogenei per operatori diversi dall'assegnamento, poi quelle in caso di assegnamenti eterogenei

Operandi eterogenei 1/2

- Regole utilizzate in presenza di **operandi eterogenei per un operatore binario diverso dall'assegnamento**
  - Ogni operando di tipo **`char`** o **`short`** viene convertito in **`int`**
  - Se, dopo l’esecuzione del passo precedente, gli operandi sono ancora eterogenei, si converte l’operando di tipo inferiore al tipo dell'operando di tipo superiore. La gerarchia dei tipi è:

CHAR < INT < UNSIGNED INT < LONG INT < UNSIGNED LONG INT < FLOAT < DOUBLE < LONG DOUBLE

- Oppure, trascurando gli unsigned:

  CHAR < INT < FLOAT < DOUBLE < LONG DOUBLE

Operandi eterogenei 2/2

- A questo punto i due operandi sono omogenei e viene invocata **l'operazione relativa all’operando di tipo più alto**
  - Anche il risultato sarà quindi dello stesso tipo dell'operando di tipo superiore

???

- “... nell' esercizio 4 quando nella consegna dice " il tipo unsigned int è gerarchicamente superiore al tipo int " intende che non può essere viceversa?”

Esempi

`int a, b, c; float x, y; double d;`

`a*b+c`	→	espressione omogenea (int)
`a*x+c`	→	espressione eterogenea (float): prima a e poi c sono convertiti in float
`x*y+x`	→	espressione omogenea (float)
`x*y+5-d`	→	espressione eterogenea (double): 5 è convertito in float, poi il risultato di x*y+5 viene convertito in double
`a*d+5*b-x`	→	espressione eterogenea (double): a viene convertito in double, così come l'addendo (5*b) e la variabile x

Assegnamento eterogeneo

- L’espressione a destra dell’assegnamento viene valutata come descritto dalle regole per la valutazione di un’espressione omogenea o eterogenea viste finora
- Se il **tipo del risultato** di tale espressione è diverso da quello della variabile a sinistra dell'assegnamento, allora viene **convertito al tipo di tale variabile**
  - Se il tipo della variabile è gerarchicamente uguale o superiore al tipo del risultato dell'espressione, tale risultato viene convertito al tipo della variabile probabilmente senza perdita di informazione
  - Se il tipo della variabile è gerarchicamente inferiore al tipo del risultato dell'espressione, tale risultato viene convertito al tipo della variabile con alto rischio rischio di perdita di informazione
    - dovuto ad un numero inferiore di byte utilizzati per il tipo della variabile oppure, in generale, ad un diverso insieme di valori rappresentabili

Esempi

```
int   i = 4;        char  c = 'K';     double  d = 5.85;


i = c;          // conversione da char ad int

i = c+i;        /* conversione da char ad int di c per il calcolo di
                   (c+i) e poi assegnamento omogeneo */

d = c;          // char → double       d==75.

i = d;          /* sicuro troncamento della parte decimale (i==5)

c = d / i;      // evidente perdita di informazione
```

Esercizio

```
int a, b=2;          float x=5.8, y=3.2;

a = static_cast<int>(x) % static_cast<int>(y); // a == ?
a = static_cast<int>(sqrt(49)); // a == ?

a = b + x;                  // è equivalente a quale nota-
                            // zione con conversioni
                            // esplicite: ?

y = b + x;                  // è equivalente a: ?

a = b + static_cast<int>(x+y);      // a == ?

a = b + static_cast<int>(x) + static_cast<int>(y);
                            // a == ?
```

Soluzione

```
int a, b=2;         float x=5.8, y=3.2;

a = static_cast<int>(x) % static_cast<int>(y); // a == 2
a = static_cast<int>(sqrt(49)); // a == 7

a = b + x;                  // è equivalente a:
      a = static_cast<int>(static_cast<float>(b)+x); → 7

y = b + x;                  // è equivalente a:
      y = static_cast<float>(b)+x; → 7.8
a = b + static_cast<int>(x+y);
      a=b+static_cast<int>(9.0); → a = 2 + 9 → 11
a = b + static_cast<int>(x) + static_cast<int>(y);
      a=b+static_cast<int>(5.8)+static_cast<int>(3.2);
            → a = 2 + 5 + 3 → 10
```

Perdita informazione 1/5

```
int varint = static_cast<int>(3.1415);
```

Perdita di informazione:

3.1415 ≠ `static_cast<double>(varint)`

```
long int varlong = 123456789;
short varshort = static_cast<short>(varlong);
```

Sicuro overflow e quindi valore casuale!

(il tipo short non è in grado di
rappresentare un numero così grande)

- **Fondamentale**: in entrambi i casi <u>non viene segnalato alcun errore</u> a tempo di compilazione, né a tempo di esecuzione!

Perdita di informazione 2/5

- Supponiamo di aver memorizzato un numero senza cifre dopo la virgola all'interno di un oggetto di tipo **`double`**
- Supponiamo poi di assegnare il valore di tale oggetto di tipo **`double`** ad un oggetto di tipo **`int`** memorizzato su un numero di bit inferiore al numero di bit della mantissa dell'oggetto di tipo **`double`**
- Si potrebbe avere perdita di informazione?

Perdita di informazione 3/5

- Sì
- L'oggetto di tipo **`int`** potrebbe non essere in grado di rappresentare tutte le cifre
  - Ad esempio, supponiamo di poter rappresentare al più 4 cifre in base 10 con un **`int`** e che invece il valore sia 12543.
- In particolare questo implica che il valore sarebbe numericamente troppo elevato, quindi per l'esattezza si avrebbe un *overflow*
  - Nel precedente esempio numerico, 12543 sarebbe più grande del massimo intero rappresentabile

Perdita di informazione 4/5

- Facciamo invece l'esempio contrario: supponiamo che sia il tipo **`int`** ad essere memorizzato su un numero di bit **maggiore** del numero di bit utilizzati per rappresentare la mantissa di un oggetto di tipo, per esempio, **`float`**
- Supponiamo però che, grazie all'uso dell'esponente, il tipo **`float`** sia in grado di rappresentare numeri più grandi di quelli rappresentabili con il tipo **`int`**
- In questo caso, si potrebbe avere perdita di informazione se si assegna il valore memorizzato nell'oggetto di tipo **`int`** all'oggetto di tipo **`float`**?

Perdita di informazione 5/5

- Sì
- L'oggetto di tipo **`float`** potrebbe non essere in grado di rappresentare tutte le cifre
- Questo non implica che il valore sarebbe numericamente troppo elevato, quindi non si avrebbe *overflow*
  - Si avrebbe semplicemente un **troncamento delle cifre del numero**
  - Ad esempio, considerando che il tipo **`float`** può rappresentare al più 6 cifre decimali diverse ed il numero fosse 1412332, sarebbe memorizzato come .141233e7, perdendo l'ultima cifra

Morale

- Le conversioni sono praticamente sempre pericolose
- Quando le si usa bisogna sapere quello che si fa
- L'elevata precisione dei moderni tipi numerici fa comunque sì che i fenomeni di perdita di informazione dovuti a cambi di precisione nelle conversioni generino conseguenze serie solo in applicazioni che effettuano elevate quantità di calcoli e/o che necessitano di risultati numerici molto accurati

Esercizi

- Per fissare bene i concetti sulle conversioni svolgere, tra gli altri, i seguenti esercizi per casa della settima esercitazione:
  - *divis_reale3.cc*
  - *int_reale_int.cc*
- Finire la settima esercitazione