

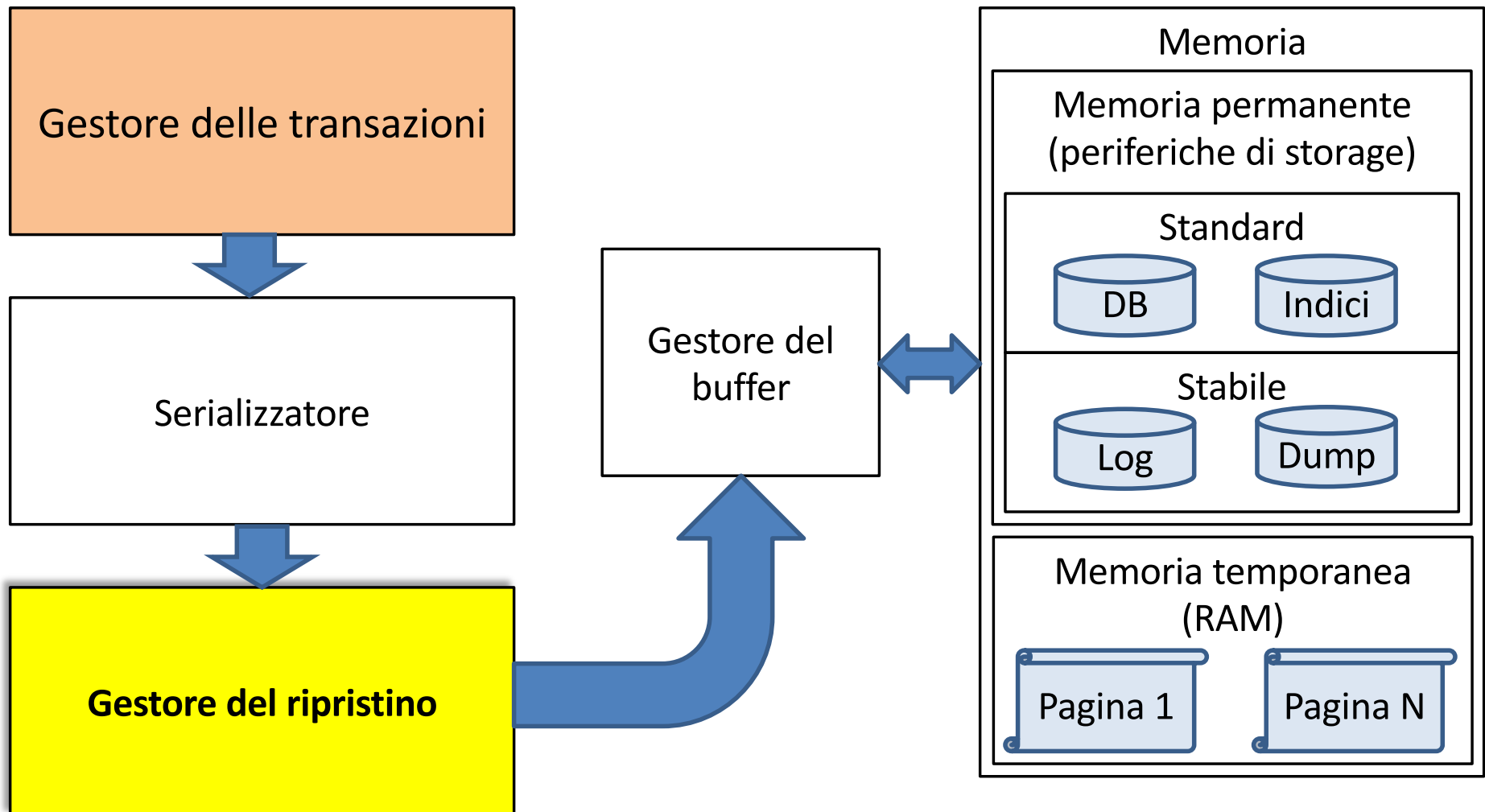
# **Basi di Dati**

## **Architettura dei DBMS: gestione del ripristino**

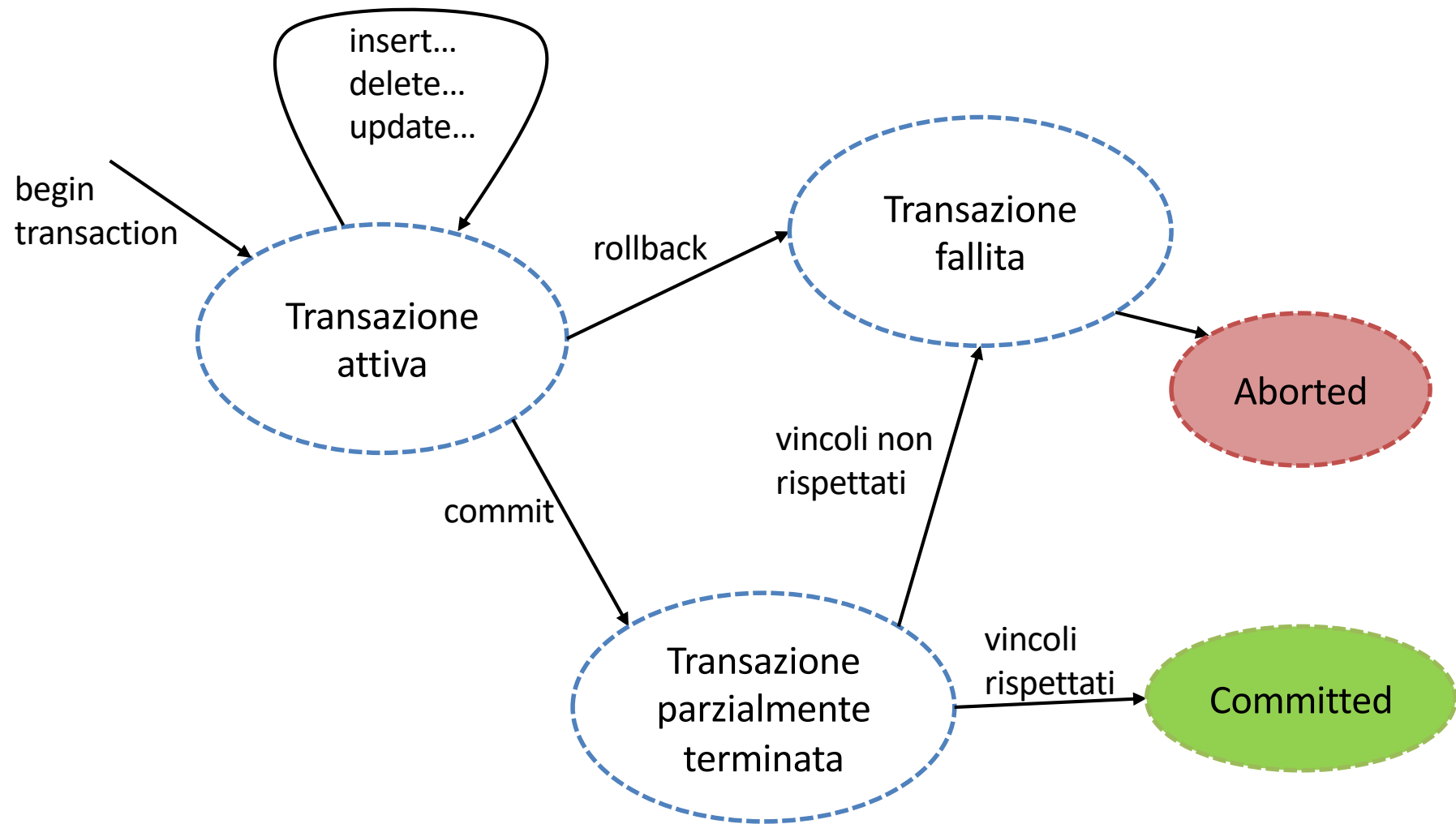
# Contenuti - Roadmap

Lab (progettazione)	Corso di Teoria	Lab (SQL)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Metodologie e modello Entità Associazioni</li><li>• Progettazione concettuale e logica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modello Relazionale</li><li>• Algebra relazionale</li><li>• Ottimizzazione logica</li><li>• Calcolo relazionale</li><li>• La normalizzazione</li><li>• Metodi di accesso e indici</li><li>• Gestione della concorrenza</li><li>• <b>Gestione del ripristino</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Linguaggio SQL</li></ul>

# Architettura dei DBMS



# Ciclo di vita di una transazione



# Gestore del ripristino

Il **gestore del ripristino** affronta il problema dell'affidabilità.

Il sistema deve garantire i dati a fronte di possibili **guasti** e **anomalie**:

*Guasti **soft** (più comuni):*

## *1. Crash di sistema*

- Guasto hardware o software o di rete durante l'esecuzione di una transazione (ad es. guasto della memoria principale). I guasti alle periferiche di storage non vengono considerati in questa voce.

## *2. Errori di programma o di sistema*

- Una transazione fallisce per un errore (es. divisione per zero), per un bug o perché l'utente la interrompe.

## *3. Eccezioni gestite dalla transazione*

- Ad es. saldo insufficiente in un conto corrente. Non sono errori perché sono stati previsti dallo sviluppatore.

...

# Gestore del ripristino

...

## 4. *Rollback di transazioni forzate dal gestore della transazione e dal serializzatore*

- Per es. per violazione della serializzabilità o per uscire da un deadlock.

*Guasti **hard** (meno comuni):*

## 5. *Guasti delle periferiche di storage*

- Possono anche avvenire durante un'operazione di lettura o scrittura della transazione.

## 6. *Eventi catastrofici*

- Per es. furti, incendi, allagamenti, guasti all'aria condizionata o all'alimentazione...

# Gestore del ripristino

- Il **gestore del ripristino** è la componente del DBMS che garantisce *atomicità* e *durabilità*.
- **Atomicità**: se una transazione fallisce durante l'esecuzione, il gestore del ripristino deve «annullare» eventuali modifiche apportate al DB.
- **Durabilità**: se una transazione è committed, i suoi effetti devono essere conservati stabilmente in memoria secondaria.
- Il gestore del ripristino gestisce l'affidabilità a fronte di errori tranne nel caso dei guasti hard (guasti delle periferiche e eventi catastrofici).
- Considereremo in seguito come fare fronte ai guasti hard.

# File di log

- Per garantire il ripristino, il **gestore del ripristino** mantiene un **file di log**.
- Il log è una sorta di «diario di bordo» che tiene traccia delle operazioni effettuate sul DB da parte delle transazioni (scritture, cancellazioni, ...).
- È un **file sequenziale append-only** memorizzato su storage, quindi non può essere affetto dai guasti 1-4, ma solo da guasti hard (cioè guasti allo storage e eventi catastrofici).
- Ne viene fatto periodicamente il backup.
- Rende possibile effettuare *undo* e *redo* delle operazioni delle transazioni.



# File di log

- Idea di base nella gestione dei guasti:
  - **Annullare** le operazioni memorizzate su storage ma **non committed**.
  - **Ripristinare** le operazioni non memorizzate su storage che sono **committed**.

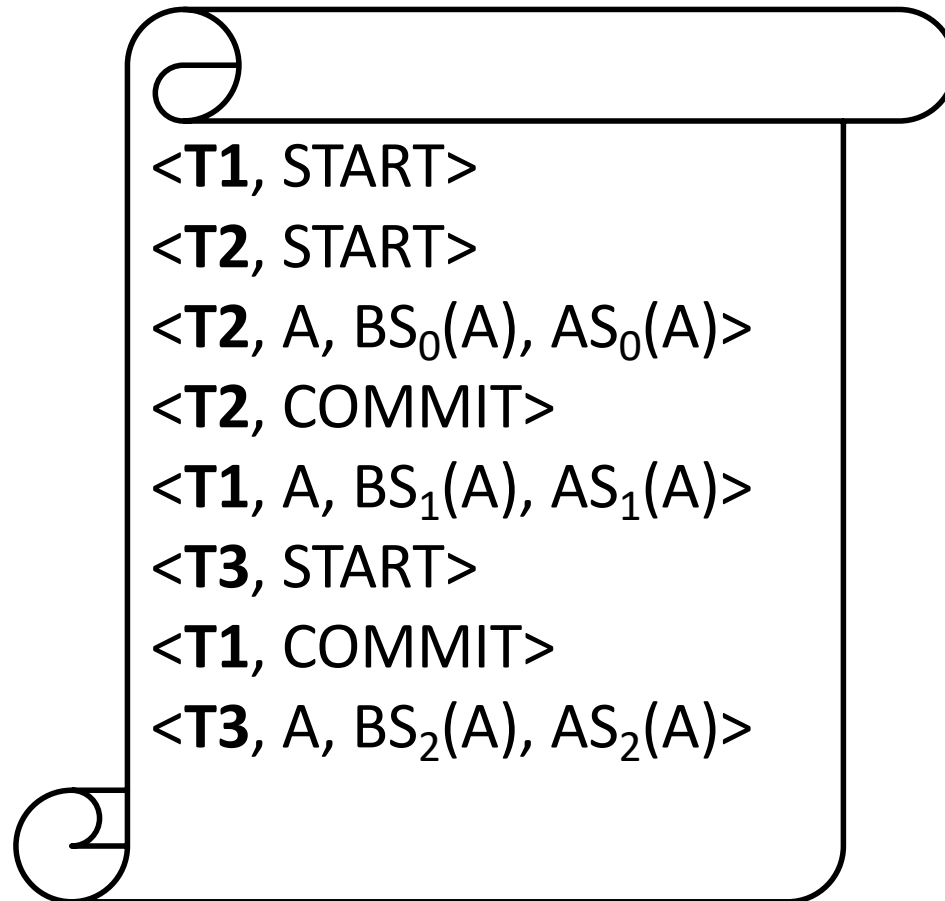
# File di log

- Nel log, quindi, per ogni transazione teniamo traccia dei comandi **start transaction** / **commit transaction** / **abort transaction**.
- E per ogni operazione (**insert/delete/update\***) effettuata sul DB  $\langle T_i, X, BS(X), AS(X) \rangle$ , che contiene:
  - l'identificativo della transazione.
  - l'oggetto X su cui è stata effettuata l'operazione (per es. un **record**).
  - **before state**: lo stato precedente di X (tranne nel caso di insert).
  - **after state**: lo stato successivo di X (tranne nel caso di delete).

\* anche read se il log viene usato anche per auditing.

# Struttura del log

## Esempio di un log



# Undo e redo di un'azione

- Usando il log si può fare undo e redo di *una singola azione* (*insert, delete, update*) in questo modo...
- **Undo** di un'azione su un oggetto *X*:
  - `update, delete`: si scrive nell'oggetto *X* il valore del **before state** (*BS*)
  - `insert`: si elimina *X*
- **Redo** di un'azione su un oggetto *X*:
  - `insert, update`: si scrive nell'oggetto *X* il valore dell'**after state** (*AS*)
  - `delete`: si elimina *X*
- Nota: anche il processo di ripristino potrebbe fallire e quindi dovere essere rieseguito in seguito: in questo caso bisogna avere lo stesso risultato che si avrebbe se il processo non fosse mai fallito.
- Quindi le operazioni *undo* e *redo* devono essere **idempotenti**, cioè  $undo(undo(X))=undo(X)$  e  $redo(redo(X))=redo(X)$ .

# Gestione buffer in memoria

- Tutte le operazioni su un DB vengono effettuate sui buffer in **memoria principale** e poi scritte su **memoria secondaria**.
- Anche le scritture sul **file di log** vengono in effetti apportate su un buffer in memoria principale e poi scritte in memoria secondaria.
- Questo ha **conseguenze sulla gestione del ripristino**.
- Infatti cosa succederebbe se una insert(X) venisse scritta su storage ma avvenisse un crash prima che anche il log venisse scritto su storage?
- Non potremmo disfare l'inserimento non committed!

# Regole fondamentali per il log

- Quando si scrive il log su storage?
- Vanno rispettate due regole:
  1. **Write-Ahead Log**: Il *before state* dei record di log deve essere scritto *prima dei corrispondenti record* della base di dati.
    - Dato che per ogni modifica abbiamo la garanzia di avere il valore precedente, questa regola consente di annullare (UNDO) le operazioni.
  2. **Commit-Precedenza**: L'*after state* dei record di log deve essere scritto *prima di effettuare il commit*.
    - Questa regola consente di rifare (REDO) le scritture decise da una transazione ma eventualmente non riportate su storage.

# Regole fondamentali per il log

- **Scrittura dei record di commit.** Quando una transazione richiede il **commit**, il DBMS sceglie in modo atomico e indivisibile tra abort e commit e scrive sul log in modo **sincrono (primitiva force) il record di commit**.
- Un guasto che si verifica prima del commit impone al gestore del ripristino l'undo delle azioni effettuate.
- Un guasto che si verifica dopo il commit impone il redo delle azioni effettuate.

# Rollback

- Una transazione  $T_i$  può fallire:
  - quando richiede un **rollback**,
  - quando il DBMS impone una **abort** o
  - quando la transazione richiede un **commit** e almeno un vincolo non è soddisfatto.
- In questi casi il DBMS esegue un **rollback** della transazione: esegue un'azione detta **UNDO( $T_i$ )** che disfa tutte le azioni precedentemente compiute dalla transazione  $T_i$ .
- Al termine dell'esecuzione di UNDO, nel log verrà memorizzato il record **< $T_i$ , abort>** seguito dalla direttiva **FORCE LOG**, che forza la scrittura del log su storage.



# UNDO/REDO

Quando cade il sistema e si riprende l'attività, alcune transazioni  $AT = \{T_i...T_h\}$  (*insieme delle transazioni attive*) si trovano in uno stadio di elaborazione non terminato.

Altre transazioni  $CT = \{T_j...T_k\}$  (*insieme delle transazioni committed*) invece sono terminate.

In prima approssimazione, il ripristino in seguito a un crash avviene con due operazioni:

- **UNDO(AT): annullamento** delle transazioni non terminate per garantire la proprietà di atomicità.
- **REDO(CT): ripristino** delle transazioni committed.

# UNDO( $T_1, \dots, T_h$ )

Si esplora il file di log **a ritroso**.

UNDO( $T_1, \dots, T_h$ ):

**per ogni**  $\langle T_i, X, BS(X), AS(X) \rangle$  a ritroso tale che  $T_i \in \{T_1, \dots, T_h\}$

*/\* ripristina  $BS(X)$ , cioè: \*/*

leggi la pagina che contiene  $X$

modifica nel buffer la pagina usando  $X := \mathbf{BS(X)}$

FORCE della pagina

# REDO( $T_1, \dots, T_k$ )

Si esplora il file di log **in avanti**

REDO( $T_1, \dots, T_k$ ):

**per ogni**  $\langle T_i, X, BS(X), AS(X) \rangle$  in avanti tale che  $T_i \in \{T_1, \dots, T_k\}$



*/\* rendi persistente AS(X), cioè: \*/*

leggi la pagina che contiene X

modifica nel buffer la pagina usando  $X := \mathbf{AS(X)}$

FORCE della pagina

# Esempio di file di log



<T1, START>  
<T2, START>  
<T2, A, BS<sub>0</sub>(A), AS<sub>0</sub>(A)>  
<T2, COMMIT>  
<T1, A, BS<sub>1</sub>(A), AS<sub>1</sub>(A)>  
<T3, START>  
<T1, COMMIT>  
<T3, A, BS<sub>2</sub>(A), AS<sub>2</sub>(A)>  
CRASH!

1. T2 è la prima transazione che modifica l'oggetto A con before state BS<sub>0</sub>(A) e after state AS<sub>0</sub>(A)
2. La transazione T2 va in **commit**, quindi la modifica apportata ad A da T2 ha effetto sulle operazioni successive
3. Quando T1 modifica A, il suo before state sarà quindi uguale all'after state precedente, cioè BS<sub>1</sub>(A)=AS<sub>0</sub>(A) di T2
4. La transazione T3 entra nel sistema
5. T1 va in **commit**
6. T3 modifica l'oggetto A (con BS<sub>2</sub>(A)=AS<sub>1</sub>(A)), ma non riesce ad andare in commit a causa di un **crash** (infatti nel log non c'è il commit di T3)

Vediamo come **ripristinare** lo stato corretto del DB...

# Lettura a ritroso

- Le **transazioni attive** (cioè quelle non terminate) sono  $AT = \{T3\}$ .
- Per le transazioni attive bisogna esplorare il log **all'indietro** per **annullarne** gli effetti e riportare la base di dati allo stato precedente alle modifiche.
- UNDO considera quindi a ritroso le transazioni in AT riportando gli oggetti al loro valore nel before state.

# Lettura in avanti

- Le **transazioni committed** sono  $CT=\{T2,T1\}$ .
- Per le transazioni committed bisogna esplorare il log **in avanti** perché il ripristino deve portare la base di dati allo stato dell'ultima modifica.
- REDO rispetta esattamente questo ordine quando il file di log viene letto in avanti.

# Algoritmo di ripristino (**UNDO/REDO**)

Quando avviene un crash il sistema cade e poi dovrà ripartire senza nessuna transazione in corso.

Il ripristino prevede i seguenti passi:

1. **AT** := insieme delle transazioni non terminate
2. **CT** := insieme delle transazioni che hanno raggiunto il commit
3. **UNDO(AT)**
4. **REDO(CT)** (sempre dopo la UNDO)

Si esegue prima UNDO per riportare il sistema allo stato originale e poi REDO per riapplicare le operazioni con commit.

# Ripristino delle transazioni in abort?

Nel ripristino non abbiamo parlato delle transazioni in abort.

Infatti, grazie al fatto che, se nel log c'è un record di ABORT, il rollback è già stato eseguito e le modifiche sono state rese persistenti, il processo di ripristino può ignorare le transazioni abortite.



# Ottimizzazione del ripristino

- Nei grossi sistemi informativi, il file di log può contenere centinaia di migliaia di record e, se avvenisse un crash di sistema, il ripristino risulterebbe estremamente costoso.
- Anche se non sono frequenti, i crash possono avvenire in qualsiasi momento, **anche in pieno orario di attività** ed è necessario ridurre al minimo i tempi necessari al ripristino.
- Infatti il ripristino richiede il blocco dell'attività transazionale, comportando, ad esempio, il blocco di tutti gli sportelli del bancomat.

# Checkpoint

La soluzione consiste nell'introduzione, nel file di log, di un passo detto **checkpoint**.

Il checkpoint garantisce che il processo di ripristino possa considerare solo una parte del file di log.

<T1, START>

<T2, START>

<T2, A, BS<sub>0</sub>(A), AS<sub>0</sub>(A)>

<T2, COMMIT>

<T1, A, BS<sub>1</sub>(A), AS<sub>1</sub>(A)>

<T3, START>

...

----- checkpoint -----

...

<T1, COMMIT>

<T3, A, BS<sub>2</sub>(A), AS<sub>2</sub>(A)>

# Checkpoint

Periodicamente (ad es. ogni 10/15 minuti) avviene un processo di checkpoint che aggiunge un record al file di log:

1. Si **sospendono tutte** le transazioni
2. Si costruisce il record di checkpoint contenente l'elenco delle transazioni che in quel momento sono **attive** col relativo **puntatore** alla posizione dello start della transazione nel file di log
3. Si esegue un **FORCE LOG**
4. Si esegue un **FORCE** delle pagine delle transazioni committed
5. Si aggiunge un flag di **OK** nel record di checkpoint e si esegue un nuovo **FORCE LOG**
6. Si riavviano le transazioni sospese

Nel ripristino sarà quindi inutile scorrere la porzione di log precedente al checkpoint. Infatti:

- grazie al passo 4 si possono ignorare le transazione committed.
- grazie al passo 2 si possono ricavare le sole transazioni attive da ripristinare.

Rimangono da considerare le transazioni dopo il checkpoint.

# Creazione del checkpoint: esempio

- **T1** e **T3** sono transazioni iniziate ma non terminate, quindi vengono aggiunte al record di checkpoint con i relativi puntatori
- **T2** è iniziata e terminata, quindi non viene aggiunta al record
- Il record di log è reso persistente con una **FORCE LOG**
- Le modifiche di **T2** vengono rese persistenti con una **FORCE delle sue pagine**
- Si aggiunge il flag **OK**
- Si esegue un nuovo **FORCE LOG**

<T1, START>  
<T2, START>  
<T2, A, BS<sub>0</sub>(A), AS<sub>0</sub>(A)>  
<T2, COMMIT>  
<T1, A, BS<sub>1</sub>(A), AS<sub>1</sub>(A)>  
<T3, START>

cp:	T1, p	T3, p	OK
-----	-------	-------	----

# Ripristino con checkpoint

- Il **ripristino con checkpoint** considera l'ultimo checkpoint, che dà l'elenco delle transazioni attive in quel momento (**T1** e **T3**).
- ...

1  
<T1, START>  
<T2, COMMIT>  
<T1, A, BS<sub>1</sub>(A), AS<sub>1</sub>(A)>  
<T3, START>

cp:	T1, p	T3, p	OK
-----	-------	-------	----

<T1, COMMIT>  
<T4, START>  
<T5, START>  
<T4, A, BS<sub>3</sub>(A), AS<sub>3</sub>(A)>  
<T4, COMMIT>  
<T3, A, BS<sub>4</sub>(A), AS<sub>4</sub>(A)>  
<T5, B, BS<sub>5</sub>(B), AS<sub>5</sub>(B)>  
2 (crash!)

# Ripristino con checkpoint

- Per le transazioni che hanno raggiunto il commit **prima** del checkpoint (**T2**) non c'è bisogno di ripristino (stiamo considerando solo guasti soft).
- Per le transazioni AT non ancora terminate sia iniziate prima del checkpoint (**T3**) che dopo (**T5**) si fa UNDO.
- Per le transazioni CT con il commit dopo il checkpoint sia iniziate prima del checkpoint (**T1**) che dopo (**T4**) si fa REDO.

<T1, START>  
 <T2, COMMIT>  
 <T1, A, BS<sub>1</sub>(A), AS<sub>1</sub>(A)>  
 <T3, START>

cp:	T1, p	T3, p	OK
-----	-------	-------	----

<T1, COMMIT>  
 <T4, START>  
 <T5, START>  
 <T4, A, BS<sub>3</sub>(A), AS<sub>3</sub>(A)>  
 <T4, COMMIT>  
 <T3, A, BS<sub>4</sub>(A), AS<sub>4</sub>(A)>  
 <T5, B, BS<sub>5</sub>(B), AS<sub>5</sub>(B)>  
 (crash!)

# Ripresa a caldo (hot restart)

1. Trova l'ultimo checkpoint
2. Recupera la lista **AT** delle transazioni ancora **attive** **durante il crash**
3. Recupera la lista **CT** delle transazioni che hanno raggiunto il commit **dopo l'ultimo checkpoint**
4. **UNDO(AT)**
5. **REDO(CT)**

# Ripristino con checkpoint

Insieme delle transazioni attive durante il crash:

$$AT = \{T3, T5\}$$

Insieme delle transazioni con commit dopo il checkpoint:

$$CT = \{T1, T4\}$$

Ripristino:

1. **UNDO**(T3, T5)
2. **REDO**(T1, T4)

<T1, START>  
<T2, COMMIT>  
<T1, A, BS<sub>1</sub>(A), AS<sub>1</sub>(A)>  
<T3, START>

cp:	T1, p	T3, p	OK
-----	-------	-------	----

<T1, COMMIT>  
<T4, START>  
<T5, START>  
<T4, A, BS<sub>3</sub>(A), AS<sub>3</sub>(A)>  
<T4, COMMIT>  
<T3, A, BS<sub>4</sub>(A), AS<sub>4</sub>(A)>  
<T5, B, BS<sub>5</sub>(B), AS<sub>5</sub>(B)>  
(crash!)



# Ripristino da eventi catastrofici

- I guasti hard (fallimento dello storage e eventi catastrofici) richiedono l'utilizzo di memorie secondarie considerate "**stabili**", che consideriamo esenti da guasto perché hanno una **robustezza** maggiore rispetto alla memoria secondaria standard.

# Memoria stabile

- Il concetto di **memoria stabile** è però teorico in quanto non esiste memoria esente da **guasto**.
- Si può realizzare concretamente la memoria stabile approssimando la proprietà di robustezza con la tecnica della **uplicazione**, cioè copiando i dati su nastro magnetico o storage offline possibilmente situati in luoghi sicuri fisicamente separati e geograficamente distanti.
- Per rendere efficiente la gestione della memoria stabile, le informazioni da memorizzare devono essere di **dimensioni contenute**.

# Dump

- Copia completa ("di riserva", **backup**) della **base di dati**
  - Solitamente prodotta mentre il sistema non è operativo.  
Se viene prodotta mentre il sistema è attivo, si chiama *hot backup*.
  - **Salvata in memoria stabile**, come il nastro, possibilmente in un posto geograficamente distante.
  - Si svuota il **file di log** e si aggiunge un record di `dump` che indica il momento in cui il dump è stato effettuato (e dettagli pratici come file, dispositivo, ...).
- Il **file di log** solitamente è molto più piccolo della base di dati e si può memorizzare direttamente in memoria stabile.

# Ciclo operativo del sistema e log

- Nei sistemi informativi reali si può riscontrare un ciclo di vita dell'attività transazionale che dura circa 24 ore.
- Esiste un momento (di solito di notte) in cui l'attività della base di dati è minima.
- In questo momento la base di dati si considera corretta: si può interrompere l'attività, rendere persistenti tutte le modifiche delle transazioni committed, annullare le altre e azzerare il file di log.

# Ripresa a freddo (cold restart)

Per ripristinare la base di dati dopo un guasto hard si effettua una **ripresa a freddo** usando i backup:

1. Si ripristinano i dati a partire dai backup (**restore**)
2. Si legge **tutto il log** e si effettua il **REDO(CT)**
3. Si effettua la ripresa a caldo