



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

Corso di Laurea  
in Ingegneria Informatica

Relazione Finale  
Studio e sperimentazione di basi di dati NoSQL  
in memory per sensoristica

**Relatore:** Prof. Michele Melchiori

Laureando:  
Matteo Rizzo  
Matricola n. 727499

---

Anno Accademico 2021/2022



# Ringraziamenti



# Introduzione

Analisi database noSQL chiave-valore, in particolare *REDIS* progettazione concettuale/logica database chiave-valore



# Indice

<b>1</b>	<b>DataBase NoSQL</b>	<b>1</b>
1.1	Perche é nato <i>NoSQL</i> ?	1
1.2	Perché dovrei utilizzare un database <i>NoSQL</i> ?	2
1.3	Limiti dei <i>NoSQL</i>	2
1.4	Tipologie di <i>NoSQL</i>	2
<b>2</b>	<b>Progettazione Concettuale/Logica</b>	<b>7</b>
2.1	Modellazione NoAM $\rightarrow$ NoSQL abstract model	7
2.1.1	Modellazione Concettuale e design degli Aggregati	8
2.1.2	Partizionamento degli Aggregati e modellazione NoSQL	9
2.1.3	Implementazione	12
<b>3</b>	<b>Redis <math>\rightarrow</math> Remote Dictionary Server</b>	<b>15</b>
3.1	Caratteristiche	16
3.1.1	Strutture Dati	16
3.1.2	Confronto con <i>proprietá ACID</i>	17
3.1.3	Ambiti di utilizzo	21
3.1.4	sistema distribuito	23
<b>4</b>	<b>Interrogazioni SQL <math>\rightarrow</math> <i>Key-Value</i></b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Caso Concreto - IoT sensore Temperatura</b>	<b>31</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>33</b>





# Capitolo 1

## DataBase NoSQL

I database *NoSQL*, che sta per *not only SQL*, sono database non tabellari che archiviano i dati in maniera completamente differente dai classici relazionali. Le caratteristiche principali sono la progettazione specifica per carichi elevati e il supporto nativo per la scalabilità orizzontale, la tolleranza agli errori e la memorizzazione dei dati in modo denormalizzato. Infatti ogni elemento viene archiviato singolarmente con una chiave univoca, e la coerenza dei dati non viene garantita. Questa impostazione fornisce un approccio molto più flessibile alla memorizzazione dei dati rispetto a un database relazionale, un controllo migliore e una maggiore semplicità nelle applicazioni.

### 1.1 Perché è nato *NoSQL*?

A partire dagli anni 2000 si è passati da un modello in cui le persone principali dell'IT erano sistemisti ad un modello in cui le persone principali sono diventate gli sviluppatori. Tale passaggio ha comportato la nascita di database NoSQL che sono fortemente orientati agli sviluppatori ed allo sviluppo Agile. Inoltre i dati si sono trasformati passando dai classici strutturati a dati non strutturati (di differenti dimensioni, semistrutturati, polimorfici..) che non permettevano di definire un modello relazionale organico e così i database NoSQL sono diventati estremamente popolari perché permettono di lavorare principalmente con dati non strutturati anche di enormi dimensioni.

## 1.2 Perché dovrei utilizzare un database *NoSQL*?

I database NoSQL sono una soluzione ideale per molte applicazioni moderne, quali dispositivi mobili, Web e videogiochi che richiedono strutture dati flessibili, scalabili, con prestazioni elevate ed altamente funzionali.

- **Flessibilità:** vengono offerti schemi flessibile che consentono uno sviluppo più veloce. Quindi è una soluzione ideale per i dati semi-strutturati e non strutturati. È possibile arricchire le applicazioni di nuovi dati e informazioni senza dover sottostare ad una rigida struttura dei dati;
- **Scalabilità:** grazie alla semplicità vi è la possibilità di *scalare in orizzontale* in maniera estremamente efficiente. Infatti, si predilige l'utilizzo di cluster con molti nodi distribuiti, rispetto all'utilizzo di server centralizzati. Inoltre, vi è la possibilità di aggiungere nodi a caldo in maniera completamente trasparente per l'utente finale;
- **Elevate Prestazioni:** grazie alla mancanza di operazioni di aggregazione dei dati("join") ed anche grazie all'introduzione di semplificazioni, come il mancato supporto delle transazioni ACID, si ha una elevata velocità computazionale.
- **Altamente funzionali:** non vi è più un linguaggio generale (SQL) come nei database relazionali, ma vi sono API in base al database specifico che si va ad utilizzare.

## 1.3 Limiti dei *NoSQL*

## 1.4 Tipologie di *NoSQL*

Tipologie principali di database *NoSQL*:

- **documentali:** la rappresentazione dei dati è affidata a strutture simili ad oggetti, dette *documenti*, ognuno dei quali possiede un certo numero di proprietà che rappresentano le informazioni. Viene creata una semplice coppia, a una chiave viene assegnato un documento specifico, e in questo documento, il quale può essere formattato in vari modi (XML, JSON, YAML ...) si possono trovare le informazioni. La nozione di schema è dinamica, ogni documento può contenere appunto dei campi diversi. Questa flessibilità può essere particolarmente utile per la modellazione dei dati in cui le strutture possono cambiare da un

record all'altro, ad esempio nei dati polimorfici. Inoltre, diventa più semplice l'evoluzione di un'applicazione durante il suo ciclo di vita, ad esempio nel caso in cui vadano aggiunti nuovi campi.

Tra gli esempi di maggiore interesse vi sono: MongoDB, Azure CosmosDB, Apache CouchDB.

```
{
  Nome:"Mario",
  Indirizzo:"Via Veneto 10",
  Hobby:"Calcio"
}
```

Document1 : person1

```
{
  Nome:"Simone",
  Indirizzo:"Via del Popolo 20",
  Figli:[
    {Nome:"Annamaria", Eta:3},
    {Nome:"Luigi", Eta:2}
  ]
}
```

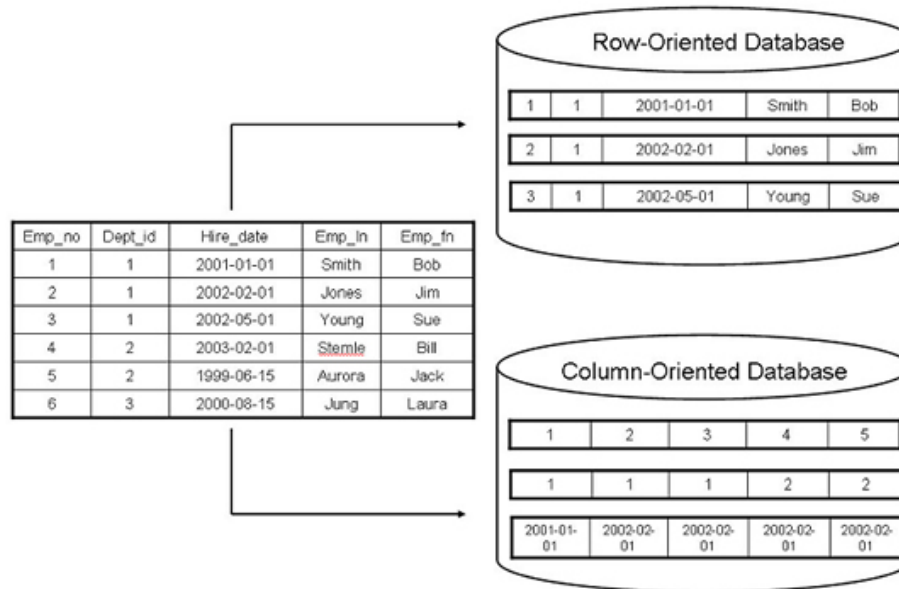
Documento2 : person2

- **key-value:** i dati vengono immagazzinati mediante un semplice metodo chiave-valore. Una chiave rappresenta un identificatore univoco. Le chiavi e i valori possono essere qualsiasi cosa, da un oggetto semplice ad articolati oggetti composti. (Questo tipo di base di dati è oggetto di tesi e quindi verrà sviluppato il suo concetto nel corso dei prossimi capitoli.)

Tra gli esempi di maggiore interesse vi sono: **Redis**, MemCached.

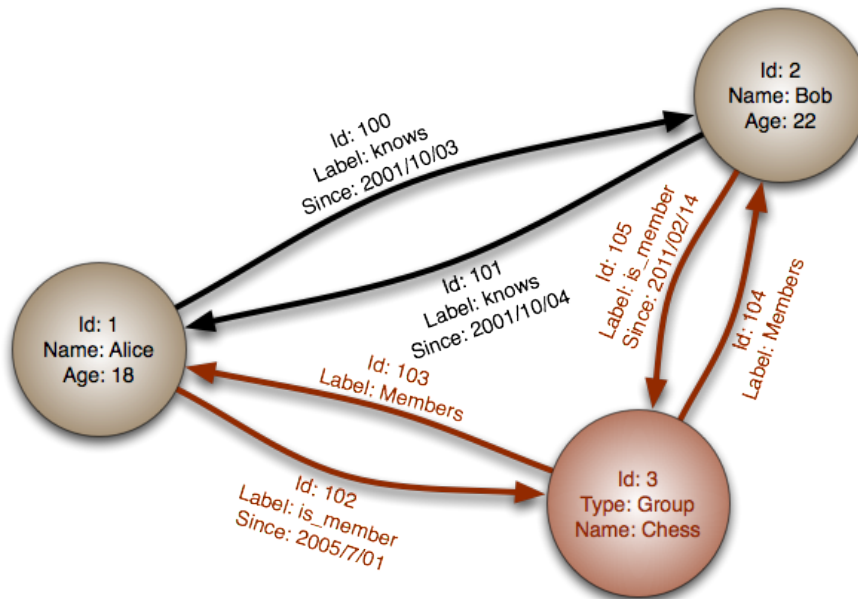
- **colonnari:** i dati vengono archiviati per colonne, anziché per righe come avviene nei database relazionali classici. Queste colonne vengono raccolte per formare dei sottogruppi. Le chiavi e i nomi delle colonne di questo tipo di database non sono fissi. Ogni colonna è memorizzata separatamente. Se sono presenti colonne simili, vengono unite in famiglie di colonne ed ogni famiglia viene archiviata separatamente dalle altre su un "file" diverso. Questa tipologia di database viene utilizzata quando è necessario un modello di dati di grandi dimensioni. Estremamente utili per i data warehouse, oppure quando sono necessarie prestazioni elevate o la gestione di query intensive.

Tra gli esempi di maggiore interesse vi sono: HBase, Cassandra, Vertica.



- **a grafo:** progettati appositamente per l'archiviazione e la navigazione di relazioni. Le relazioni rivestono un ruolo chiave e buona parte del valore di questi database deriva proprio dalla loro presenza. Vengono utilizzati i *nodi* per archiviare le entità di dati e gli *archi* per archiviare le relazioni tra entità. Le relazioni che un nodo può avere sono illimitate. In questo tipo di database attraversare collegamenti o relazioni è molto veloce perché le relazioni tra i nodi non vengono elaborate al momento della query, ma sono già presenti nel database. I casi d'uso più tipici sono i Social Network, motori di raccomandazioni e rilevamento di frodi, ovvero in tutti quegli ambiti dove è necessario creare molte relazioni tra dati ed eseguire rapidamente query su di esse.

Tra gli esempi di maggiore interesse vi sono: Neo4J, Titan.





# Capitolo 2

## Progettazione Concettuale/Logica

Sebbene i database *NoSQL* vengano definiti *schemaless*, la progettazione dell'organizzazione dei dati richiede di prendere decisioni significative. Infatti, i dati persistenti delle applicazioni hanno un impatto sui principali requisiti di qualità che devono essere soddisfatti in un'applicazione vera e propria (scalabilità, prestazioni, coerenza). Il mondo NoSQL è altamente eterogeneo, quindi questa attività di progettazione di solito si basa su pratiche e linee guida da seguire in base al sistema adoperato. Però, sono stati studiati diversi approcci che vogliono generalizzare il problema di progettazione che è alla base di ogni sistema di persistenza.

*NoAM* è uno dei principali strumenti di modellazione astratto per database NoSQL. Grazie ad esso riusciamo a definire una progettazione che è indipendente dal sistema specifico in cui viene usata. Viene utilizzato un modello dei dati intermedio e astratto, che, a sua volta, viene utilizzato per rappresentare i dati dell'applicazione come raccolte di oggetti aggregati.

### 2.1 Modellazione NoAM $\rightarrow$ NoSQL abstract model

La metodologia *NoAM* è composta da:

- Modellazione Concettuale e design degli Aggregati
- Partizionamento degli Aggregati e modellazione NoSQL
- Implementazione

### 2.1.1 Modellazione Concettuale e design degli Aggregati

Riguarda la vera e propria progettazione del modello di dominio, e comporta l'identificazione delle diverse classi di aggregati necessari in un'applicazione.

**Cos'è un aggregato?** Un aggregato è una porzione di dati correlati, con una struttura più o meno complessa ed ha un identificatore univoco. Gli aggregati regolano anche la distribuzione dei dati, infatti per supportare la scalabilità sono distribuiti tra i nodi di un sistema; ogni oggetto aggregato si trova su un singolo nodo.

Sono possibili diversi approcci per identificare classi di aggregati per una particolare applicazione. L'approccio Domain-Driven Design(*DDD*), attraverso il quale viene generato un diagramma UML delle classi, è guidato dai casi d'uso, ovvero dai requisiti funzionali, e da esigenze di scalabilità e coerenza all'interno dell'aggregato. Si procede nel modo seguente:

- I dati persistenti di un'applicazione sono modellati in termini di entità, oggetti di valore e relazioni. Un'entità è un oggetto persistente che ha un'esistenza indipendente ed è caratterizzata da un identificatore univoco, mentre un oggetto di valore è caratterizzato appunto da un suo valore senza un proprio identificatore
- Entità e oggetti di valore vengono raggruppati in *aggregati*. Un aggregato ha un'entità come radice e può contenere molti oggetti di valore.

A causa delle loro caratteristiche, la progettazione degli aggregati comporta un compromesso per quanto riguarda la loro granularità. Infatti:

- Gli aggregati dovrebbero essere abbastanza grandi per poter includere tutti i dati coinvolti da certi vincoli di integrità.
- Gli aggregati dovrebbero essere i più piccoli possibile, in quanto dimensioni ridotte consentono di soddisfare requisiti di prestazioni e scalabilità.

Preso come esempio un dominio in cui vanno salvati in modo persistente dati su giocatori e giochi





Nella figura sopra riportata l'oggetto con lo scomparto superiore colorato è un'entità, altrimenti è un oggetto di valore. La linea chiusa denota il confine di un aggregato. Pertanto avremo due classi aggregate principali: `Player` e `Game`.

Quindi, per costruire un'aggregato si parte sempre da un'entità principale. Le frecce uscenti indicano la composizione dell'entità e, ricorsivamente, degli oggetti di valore. Se consideriamo l'entità `mary: Player`, essa sarà composta, oltre che dai suoi attributi, da:

due oggetti di valore, rispettivamente `games[0]` e `games[1]`, a sua volta `games[0]` è formato dall'oggetto di valore `: GameInfo` così composto:

il valore di `game` sarà `2345: Game`, il valore di `opponent` sarà composto da `rick: Player`. Stesso procedimento verrà fatto per `games[1]`.

Bisognerà ripetere il procedimento per ogni entità presente nel diagramma.

### 2.1.2 Partizionamento degli Aggregati e modellazione NoSQL

In questa fase viene utilizzato *NoAM* come modello intermedio tra gli aggregati e i database NoSQL, quindi potrebbe essere visto come un equivalente della *progettazione concettuale* fatta nei database relazionali. Il modello NoAM  $\rightarrow$  modello di dati astratti, ha il compito di sfruttare i punti in comune dei vari modelli di dati, ma introduce anche astrazioni per bilanciare le variazioni che vi sono tra diversi modelli di NoSQL.

Da questa trasformazione si ottengono due strutture con diverse granularità:

- **blocco**, unità di dimensione maggiore, ha massima consistenza
- **entry**, unità di dimensione minore, che permette l'accesso ai dati

Con riferimento in particolare ai database chiave-valore una **entry** corrisponde a una coppia chiave-valore, mentre un **blocco** corrisponde a un gruppo di coppie chiave-valore correlate tra loro.

Quindi, si ha che:

Un **database** è un insieme di **collections**;

Ogni **collection** ha un nome distinto; Una **collection** è un insieme di **blocchi**;

Ogni **blocco** all'interno della **collection** è identificato da una chiave di blocco, che deve essere univoca; Un **blocco** è un insieme non vuoto di **entries**;

Ogni **entry** è composta da una coppia chiave-valore, la quale è univoca all'interno del blocco, il valore può essere anche complesso.

Per effettuare il passaggio da aggregati a modellazione NoSQL, ogni classe di aggregati viene rappresentata da una **collection** ed ogni singolo aggregato viene rappresentato da un **blocco**.

Un paragone può essere fatto con la programmazione ad oggetti, in cui una **collection** è una classe, ed un **blocco** è l'istanza di quella classe.

Vi sono due modalità principali per rappresentare gli aggregati:

- *Entry per Aggregate Object (EAO)*: Rappresenta ogni aggregato utilizzando una singola **entry**, la chiave della **entry** è vuota, il valore contiene l'intero aggregato. Metodologia dedicata maggiormente ai database documentali.
- *Entry per Atomic Value (EAV)*: Rappresenta ogni aggregato per mezzo di più **entry**; Nella fase successiva, ovvero quella di implementazione, le chiavi di ogni **entry** verranno utilizzate insieme al nome della **collection** ed alla chiave di blocco per creare una chiave con un nome strutturato e rendere più semplice la ricerca; i valori di ogni **entry** sono atomici.  
Questa metodologia è proprio quella che rispecchia in modo più appropriato i database key-value.



Nella figura *EAO* si ha per ogni blocco *Player* o *Game* una singola entry con chiave vuota, valore strutturato in modo complesso

Nella figura *EAV* si ha per ogni blocco più entry in modo da avere valori atomici al suo interno

Ovviamente queste due sono le rappresentazioni più estreme che si possono ottenere.

È possibile adottare una strategia di rappresentazione intermedia, denominata *Entry per Top level Field (ETF)*, in cui viene utilizzata una entry distinta per ogni campo di livello superiore, quindi si ha una sorta di struttura mista.

Player		
mary	€	$\langle$ username:"mary", firstName:"Mary", lastName:"Wilson", games : { $\langle$ game : <b>Game:2345</b> , opponent : <b>Player:rick</b> $\rangle$ , $\langle$ game : <b>Game:2611</b> , opponent : <b>Player:ann</b> $\rangle$ } $\rangle$
rick	€	$\langle$ username:"rick", firstName:"Ricky", lastName:"Doe", score:42, games : { $\langle$ game : <b>Game:2345</b> , opponent : <b>Player:mary</b> $\rangle$ , $\langle$ game : <b>Game:7425</b> , opponent : <b>Player:ann</b> $\rangle$ , $\langle$ game : <b>Game:1241</b> , opponent : <b>Player:johnny</b> $\rangle$ } $\rangle$
Game		
2345	€	$\langle$ id : "2345", firstPlayer : <b>Player:mary</b> , secondPlayer : <b>Player:rick</b> , rounds : { $\langle$ moves : ..., comments : ... $\rangle$ , $\langle$ moves : ..., actions : ..., spell : ... $\rangle$ } $\rangle$

## ETF

Se dovessimo aver bisogno di una rappresentazione degli aggregati ancora piú flessibile é possibile effettuarne il *partizionamento*, ovvero si possono raggruppare **entry** che vengono accedute insieme, oppure separare certe **entry** per avere dei valori meno complessi.

### 2.1.3 Implementazione

Consiste nel tradurre i modelli NoAM ottenuti nella fase precedente in strutture corrette per il dbms specifico che stiamo utilizzando. Per quanto riguarda i database chiave-valore si utilizzerá una coppia chiave-valore per ogni **entry** ottenuta nella struttura precedente.

In base alle scelte di progetto si decide quale modello NoAM utilizzare (EAO/EA-V/ETF); bisogna decidere che livello di complessitá vogliamo avere su chiavi e valori. Se vogliamo ottenere dei valori semplici, rappresentabili semplicemente con dei tipi atomici, utilizzeremo il metodo *EAV*, questo, però, comporterá una maggiore complessitá delle chiavi. Mentre, se vogliamo chiavi molto semplici dovremo utiliz-

zare *EAO*, però otterremo dei valori strutturati e complessi, quindi, dovremo anche confrontarci con il dbms di cui disponiamo per verificare se saranno presenti delle strutture dati adatte a rappresentare dei valori con un certo livello di complessità, cosa non sempre presente nei database key-value.

<i>key (/major/key/-/minor/key)</i>	<i>value</i>	<b>EAO</b>
<i>/Player/mary/-</i>	<i>{ username: "mary", firstName: "Mary", ... }</i>	

<i>key (/major/key/-/minor/key)</i>	<i>value</i>	<b>EAV</b>
<i>/Player/mary/-/username</i>	<i>mary</i>	
<i>/Player/mary/-/firstName</i>	<i>Mary</i>	
<i>/Player/mary/-/lastName</i>	<i>Wilson</i>	
<i>/Player/mary/-/games/1/game</i>	<i>"Game:2345"</i>	
<i>/Player/mary/-/games/1/opponent</i>	<i>"Player:rick"</i>	
<i>/Player/mary/-/games/2/game</i>	<i>"Game:2611"</i>	
<i>/Player/mary/-/games/2/opponent</i>	<i>"Player:ann"</i>	

<i>key (/major/key/-/minor/key)</i>	<i>value</i>	<b>ETF</b>
<i>/Player/mary/-/username</i>	<i>mary</i>	
<i>/Player/mary/-/firstName</i>	<i>Mary</i>	
<i>/Player/mary/-/lastName</i>	<i>Wilson</i>	
<i>/Player/mary/-/games</i>	<i>[ { ... }, { ... } ]</i>	

La figura *EAV* é quella che rispecchia maggiormente un database key-value classico con valori atomici. Si può notare che le chiavi hanno una struttura gerarchica, si ha una larga somiglianza con il directory service dei sistemi operativi; questo viene fatto principalmente per facilitare la ricerca dei valori nelle interrogazioni.



## Capitolo 3

# Redis → Remote Dictionary Server

*Redis*, acronimo di *Remote Dictionary Server*, é un archivio dati veloce, open source, in memoria e di tipo chiave-valore(**dbms NoSQL**). Si basa su una struttura a dizionario: ogni valore immagazzinato é abbinato ad una chiave univoca che ne permette il recupero. É stato sviluppato nel linguaggio di programmazione C, e funziona principalmente con sistemi unix based, non esiste un supporto ufficiale per Windows. Redis si basa su un modello client-server, infatti i programmi esterni dialogano con il server Redis utilizzando un socket TCP e un protocollo specifico di tipo request-response. Il client invia una richiesta al server attendendo la risposta sul socket ed il server elabora il comando e invia la risposta al client. Inoltre, é possibile interagire con il server anche da linea di comando con un programma chiamato **redis-cli**, grazie ad esso viene semplificato notevolmente il lavoro di hacking con il sistema.

```
matteorizzo@MBP-di-matteo ~ % redis-cli
127.0.0.1:6379> set key value
OK
127.0.0.1:6379> get key
"value"
```



## 3.1 Caratteristiche

### 3.1.1 Strutture Dati

Una caratteristica di Redis é mettere a disposizione una grande varietà di tipi di dati associabili alle chiavi, infatti il valore archiviato in corrispondenza di una certa chiave può essere molto differente da un tipo semplice come la stringa ed il valore stesso può addirittura rappresentare una struttura dati. Inoltre vi é una grandissima possibilità di manipolazione grazie all'elevato numero di funzioni presenti.

I principali tipi di dato disponibili sono:

- **Stringhe**: é il tipo più semplice, vengono memorizzate sequenze di byte, inclusi testo, oggetti serializzati e array binari; sono spesso usati per la memorizzazione nella cache;
- **Liste**: rappresentano un elenco di stringhe indicizzate in base all'ordine di inserimento nella struttura. Possono essere modificate con inserimenti in testa o in coda. Vi é la possibilità di trattare una lista come una coda (First In First Out) tramite il comando di inserimento LPUSH e il comando di prelievo RPOP oppure può essere trattata come una pila (First In Last Out) tramite i rispettivi comandi LPUSH e LPOP;
- **Set**: é una raccolta non ordinata di stringhe univoche(sono chiamate *membri* del set); quindi vi é la possibilità di utilizzare questa struttura dati per tenere traccia degli elementi univoci, rappresentare relazioni o eseguire operazioni di insiemi comuni come intersezioni, unioni e differenze;
- **Hash**: sono oggetti strutturati come raccolte di coppie campo(chiave)-valore. Possono essere utilizzati per rappresentare oggetti di base e per memorizzare raggruppamenti di contatori;
- **SortedSet**: sono una versione modificata dei Set. Sono anch'essi insiemi di stringhe che non ammettono duplicati ma, in più, includono un valore detto **score** associato ad ogni elemento, in base al quale é possibile ordinare in senso ascendente o discendente i valori dell'insieme.

Associati a queste strutture dati vi sono comandi specifici dedicati ad ognuna, per avere maggiori informazioni rimando al manuale



### 3.1.2 Confronto con *proprietá ACID*

Nelle basi di dati relazionali ogni transazione gode delle proprietá ACID. Nei database NoSQL non é vera questa affermazione, in questa sezione si vogliono mettere in evidenza quali proprietá vengono soddisfatte da Redis e quali no.

Innanzitutto, bisogna vedere in che modo sono gestite le transazioni in Redis: i comandi utilizzati per le transazioni sono quattro:

- **MULTI**: contrassegna l'inizio di un blocco di transazione, i comandi successivi verranno accodati per l'esecuzione
- **EXEC**: esegue tutti i comandi precedentemente accodati in una transazione e ripristina lo stato di connessione normale;
- **DISCARD**: svuota tutti i comandi precedentemente accodati in una transazione e ripristina lo stato di connessione normale;
- **WATCH**: contrassegna le chiavi fornite con un certo valore per eseguire un controllo condizionale al momento dell'esecuzione di una transazione (serve per la gestione di lock, ovvero controllo della concorrenza)

Quindi una transazione viene eseguita in questo modo:

1. inviamo il comando **MULTI**. Redis risponde **OK**;
2. digitiamo i comandi che devono far parte della transazione. Redis risponde **QUEUED**, ovvero il comando non viene eseguito istantaneamente ma viene messo in coda;
3. conclusione della transazione: si può scegliere se eseguire tutti i comandi con **EXEC** oppure annullare la transazione con **DISCARD**.

Di seguito riporto un esempio utilizzando **redis-cli** con la struttura dati lista; i comandi per gestire le liste in questo esempio sono 2: **LPUSH**: comando per inserire un singolo elemento nella lista; **LRange**: comando per ottenere tutti i valori presenti nella lista

```
1 > MULTI
2 OK
3 (TX)> LPUSH listaNumeri 3
4 QUEUED
5 (TX)> LPUSH listaNumeri 10
6 QUEUED
7 (TX)> LPUSH listaNumeri 34
8 QUEUED
```

```
9 (TX)> LPUSH listaNumeri 45
10     QUEUED
11 (TX)> EXEC
12     1) (integer) 1
13     2) (integer) 2
14     3) (integer) 3
15     4) (integer) 4
16
17 > LRANGE listaNumeri 0 -1
18 1) "45"
19 2) "34"
20 3) "10"
21 4) "3"
```

Si può notare come l’inserimento di tutti i valori nella lista avvenga dopo il comando `EXEC`.

Quindi, passando all’illustrazione delle proprietà ACID:

- **Atomicità:** Redis può avere due livelli di atomicità:
  - singola operazione: ovvero ogni singola richiesta da parte del client viene eseguita in maniera atomica dal server;
  - transazione con operazioni multiple: come illustrato sopra con i comandi appositi;
- **Isolamento:** Tutti i comandi in una transazione vengono serializzati ed eseguiti in sequenza. Una richiesta inviata da un altro client non sarà mai soddisfatta nel bel mezzo dell’esecuzione di una transazione. Ciò garantisce che i comandi vengano eseguiti come un’unica operazione isolata.

Inoltre, vi è un meccanismo che riesce a fornire delle garanzie aggiuntive, in cui viene fatta una sorta di operazione di check-and-set. Questo meccanismo utilizza il comando `WATCH` definito precedentemente. Le chiavi, su cui viene definito watch, vengono continuamente monitorate per eventuali modifiche; se anche una sola chiave monitorata da `WATCH` viene modificata prima della `EXEC`, l’intera transazione verrà abortita.

Consideriamo un esempio in pseudo-codice in cui si deve aumentare il valore di una chiave di 1.

```
1 num = GET sampleKey
2 num = num + 1
3 SET sampleKey num
```

i comandi mostrati sopra funzioneranno senza problemi purché sia presente un solo utente che esegue l’operazione in un determinato momento.

Il problema si verifica nel caso in cui ci siano più utenti che tentano di aumentare il valore della chiave contemporaneamente. Possiamo eliminare questo potenziale problema di race condition utilizzando il comando `WATCH` nel modo seguente:

```
1 WATCH sampleKey
2 num = GET sampleKey
3 num = num + 1
4 MULTI
5 SET sampleKey num
6 EXEC
```

Con questa implementazione, se si dovesse verificare una race condition ed un client modifica il valore di `sampleKey` tra il nostro `WATCH` e `EXEC`, la transazione verrà interrotta. Avremo bisogno di ripetere la transazione quando la race condition non sarà più presente.

Quindi questo è un modo efficace per ottenere un buon livello di isolamento nel caso di transazioni multiple.

- **consistenza:** I vincoli di integrità sono dei concetti relazionali, quindi è difficile fare un collegamento con un database di questo tipo. L'unica chiave che esiste è quella primaria e deve essere univoca; l'integrità referenziale non è mantenuta da Redis stesso e deve essere gestita dalle applicazioni client.
- **persistenza(durability):** l'efficienza di Redis è dovuta in buona parte al suo modo di gestire questa proprietà. È un database in memoria ma con possibilità di essere persistente su disco, quindi rappresenta un compromesso in cui si ottengono velocità di scrittura e lettura molto elevate con la limitazione di avere un set di dati non più grande della memoria. Questo database mette a disposizione la possibilità di scegliere tra diversi meccanismi offrendo l'opportunità di salvare database totalmente su disco oppure no.

I meccanismi, che verranno illustrati di seguito, sono:

- **RDB**
- **AOF**
- **Database in Memory**

**RDB → Redis Database File** Questo tipo di persistenza esegue snapshot del set di dati a intervalli specificati. Viene prodotto come risultato un file compatto, pertanto agevole da salvare su qualsiasi tipo di supporto. Inoltre, il recupero dei dati all'avvio del server Redis è molto efficiente. Il salvataggio dei

dati viene eseguito su file ad intervalli di tempo e non con continuità, quindi questo potrebbe essere un punto a sfavore nel caso di crash del sistema tra uno snapshot ed un altro con conseguente perdita dei dati. Conviene utilizzare questo tipo di persistenza quando si richiede un salvataggio meno oneroso per il server e si ha particolare interesse ad avere un backup più comodo.

**AOF → Append Only File** è un meccanismo di persistenza che consente al server Redis di tenere traccia e registrare ogni comando eseguito dal server. Quindi vi è un file di log dove vengono aggiunti i comandi ogni volta che vengono eseguiti. Questo registro di comandi può essere riprodotto all'avvio del server, ricreando il database al suo stato originale. Il vantaggio è che basandosi su un log scritto continuamente, non vi è il rischio di incorrere in perdite in caso di crash. Inoltre, il formato dei file che vengono prodotti da questa modalità permette un recupero più semplice in caso di corruzione. Però, i file AOF risultano meno compatti e più voluminosi rispetto a quelli in formato RDB e da ciò consegue un ripristino del database meno rapido all'avvio. Questo meccanismo viene utilizzato quando la principale preoccupazione è la perdita di dati.

È possibile utilizzare contemporaneamente AOF e RDB, e durante il ripristino del database verrà preferito l'utilizzo di file AOF per la loro maggiore completezza.

**Database In Memory** è possibile rinunciare ad entrambi i meccanismi definiti precedentemente per dare vita ad un database in memory, risultando molto più efficiente, poiché non deve più occuparsi dei salvataggi su disco, e può essere utilizzato per immagazzinare dati ad uso temporaneo la cui perdita non risulterebbe irreparabile per il sistema.

Redis può anche essere utilizzato come memoria cache, in cui viene fissata la quantità massima di memoria utilizzabile. Quando questa sarà colma, i dati più vecchi verranno eliminati con una politica LRU o LFU.

### Come configurare i diversi livelli di persistenza?

Per fare ciò bisogna accedere al file di configurazione del server Redis andando a modificare/cancellare dei parametri e riavviando il server, oppure digitando **CONFIG SET ...** da CLI con la possibilità di avere un effetto immediato sulle modifiche apportate alla configurazione del server senza doverlo riavviare.

Verrá illustrato un esempio di modifica del file di configurazione, denominato `redis.conf`.

RDB é l'impostazione predefinita. In particolare sono già impostati i seguenti parametri di default:

```
1 save 900 1
2 save 300 10
```

Ciò significa che viene eseguito uno snapshot dopo 900 secondi se vi é almeno 1 modifica al set di dati e dopo 300 secondi se vi sono almeno 10 modifiche al set di dati. Di conseguenza, se si ha la necessità di avere intervalli aggiuntivi o diversi é molto semplice andare a modificarli aggiungendo o togliendo questi parametri predefiniti.

Al momento del salvataggio verrà visualizzato un messaggio di questo tipo nella CLI del server:

```
1 10 changes in 300 seconds. Saving...
2 Background saving started by pid ...
3 DB saved on disk
```

La strategia AOF viene configurata mediante due parole chiave: `appendonly`, che se impostato a `yes` attiva AOF; `appendfilename`, che specifica il nome del file in cui verranno salvate le operazioni.

Per avere un *database in memory* é sufficiente includere questi comandi:

```
1 save ""
2 appendonly no
```

### 3.1.3 Ambiti di utilizzo

Redis é estremamente flessibile e grazie alla sua efficienza può essere applicato a casi d'uso molto diversi tra loro:

- **Analisi in tempo reale:** viene utilizzato come datastore in memoria per acquisire, elaborare e analizzare dati in tempo reale con latenze molto basse, infatti può essere utilizzato in modo estremamente efficace in ambito **IoT**. Si può immaginare una rete di sensori che invia dati in maniera continua, questi dati vanno memorizzati ed elaborati con una bassa latenza. Queste sono proprio le caratteristiche che un dbms come Redis offre. Verrá analizzato un caso reale nel capitolo 5, in cui verrà mostrato un modo in cui Redis può essere utilizzato proprio con questo particolare caso d'uso;

- **Chat, messaggistica e code:** grazie alle strutture dati che offre, come le liste e le hash, e strutture dati aggiuntive come pub/sub (in cui vi sono diversi publisher e subscriber) può essere utilizzato per la messaggistica. Infatti vengono offerte prestazioni elevate per chat e flussi di commenti in tempo reale;
- **Classifiche di videogiochi:** è un servizio molto utilizzato per la creazione di classifiche in tempo reale. Infatti, è sufficiente utilizzare la struttura dati SortedSet per ottenere un elenco ordinato in base ai punteggi degli utenti. In questo modo, la classifica viene aggiornata simultaneamente alla variazione dei punteggi dei giocatori. Inoltre, SortedSet potrebbe venire utilizzata anche per gestire serie temporali utilizzando timestamp come punteggio;
- **Memorizzazione:** soluzione molto utilizzata nel caso in cui occorre memorizzare e gestire dati di sessione per applicazioni su Internet, ad esempio profili utente, credenziali, stati di sessione e personalizzazioni specifiche per ciascun utente. Inoltre, è ideale anche per lo streaming di contenuti multimediali in tempo reale, in particolare per memorizzare metadati di profili utente e cronologie di visualizzazione, informazioni di autenticazione per milioni di utenti e file manifest con cui permettere la distribuzione di contenuti a milioni di utenti contemporaneamente;
- **Dati Geospaziali:** viene offerta una struttura per gestire dati geospaziali reali, chiamata **Geospatial**, su vasta scala e con la massima rapidità. Praticamente è una SortedSet con uno score che viene calcolato in base alle coordinate che vengono assegnate ad un certo membro. Vengono offerti diversi comandi, tra cui **GEOADD** che permette di aggiungere elementi ad un indice geospaziale. Infatti, se consideriamo un esempio in cui stiamo tracciando un gruppo di auto basterà fare nel modo seguente:

```
1 > GEOADD auto -115.17087 36.12360 auto-p1
2 > GEOADD auto -115.171971 36.120609 auto-p2
```

Per aggiornare la posizione dell'auto andrà eseguito un nuovo **GEOADD** sulla stessa auto.

È possibile determinare la distanza in metri tra diverse auto con il comando **GEODIST**:

```
1 > GEODIST auto auto-p1 auto-p2
2 "347.0365"
```

Quindi, si può vedere da questo semplice esempio il grande potenziale che ha questa struttura dati.

- **Machine Learning:** le moderne applicazioni basate sui dati necessitano di apprendimento automatico e quindi devono analizzare ed elaborare in modo rapido grandissime quantità di dati di vario genere e con varie frequenze di aggiornamento. Queste caratteristiche si adattano perfettamente a Redis.

### 3.1.4 sistema distribuito

vi sono due tipologie di sistemi distribuiti che é possibile implementare in Redis:

- **Redis Master-Slave**
- **Redis Cluster**

Per sistemi estremamente avanzati, vi é la possibilità di fondere queste due modalità.

#### Redis Master-Slave

Redis può implementare un'architettura master-slave, ovvero un noto paradigma informatico in cui un dispositivo o processo (il master) controlla o coordina più dispositivi o processi subordinati (gli slave).

il server Redis può essere eseguito in due modalità:

- Modalità Master (Redis Master);
- Modalità Slave (Redis Slave o Redis Replica).

Redis Master funge da interfaccia con il mondo esterno, gestendo tutte le richieste scrittura esterne e può gestire anche quelle di lettura; ogni volta che viene apportata una modifica al database master, la modifica viene propagata ai database slave collegati al master.



La propagazione della replica può avvenire in due modi:

- sincrona: le modifiche ai database slave avvengono apportate istantaneamente;
- asincrona: le modifiche vengono apportate solo a distanza di tempo, è l'impostazione predefinita poiché si adatta alla maggior parte dei casi d'uso di Redis.

La replica master-slave è in gran parte non bloccante, il che significa che il database master può continuare a funzionare mentre i database slave sincronizzano i dati. I Redis Slave saranno in grado di gestire le query utilizzando la versione non aggiornata del database, tranne che per un breve periodo durante il quale vengono caricati i nuovi dati.

### Come avviene il failover nel caso di guasto di Redis Master?

vi sono due scelte:

1. aggiungi una nuova macchina come Redis Master;
2. rendi qualsiasi Redis Slave esistente come nuovo Redis Master.

Il problema con l'approccio **1** è che nel momento in cui aggiungiamo una nuova macchina che fa da Master e questa sincronizzerà tutti i dati sui vari Slaves perderemo



tutti i dati.

L'approccio **2** é quello migliore perché lo slave esistente avrà già tutti i dati e una volta che lo avremo impostato in modalità Master, esso replicherá/sincronizzerá i dati su tutti gli Slaves, il che significa che non avremo una perdita di dati, o comunque avremo una minima perdita di dati nel caso in cui il guasto del Master si sia verificato prima della sincronizzazione con gli slaves.

Invece, nel caso di crash di Redis Slave le sue richieste di lettura saranno semplicemente sostituite da altri Redis Slave.

### Teorema CAP

Formulato da Eric Brewer nel 1998, afferma che se i dati sono in un sistema i distribuito tra i nodi di una rete, solo due delle seguenti proprietà possono essere soddisfatte contemporaneamente:

- **Consistency:** le operazioni di lettura restituiscono il dato aggiornato, ovvero proveniente dall'ultima scrittura dello stesso, oppure un messaggio d'errore. Non bisogna confonderla con la consistenza delle proprietà ACID, infatti questa fa riferimento al valore più aggiornato di un certo dato, mentre nelle proprietà ACID si fa riferimento al rispetto dei vincoli d'integritá.
- **Availability:** l'accesso ai dati é sempre garantito, non si ricevono mai messaggi d'errore, ma i dati restituiti non sono necessariamente consistenti, ovvero potrebbero non coincidere con quelli utilizzati nell'ultima operazione di scrittura degli stessi.
- **Partition Tolerance:** il sistema continua a funzionare nonostante alcuni messaggi vengano persi o subiscano rallentamenti nelle comunicazioni tra i nodi della rete.

É un teorema che viene utilizzato per analizzare le dinamiche dei sistemi informativi che possiedono due o più archivi di dati posti su nodi distinti della rete. Quindi rientra perfettamente in questa categoria Redis.

Redis é un sistema **AP**, ovvero non fornisce una forte coerenza.

### Per quale motivo?

Quando Redis Master riceve una richiesta di scrittura da un cliente:

1. Esegue la richiesta del cliente e manda un ack di conferma;

2. Redis Master replica la richiesta di scrittura su uno o più slave.

Redis Master non attende il completamento della replica sugli slave, ma esegue prima la richiesta del client. Se supponiamo che il guasto del Master avvenga prima del completamento della replica agli Slave avremo una perdita di coerenza.

Potremmo pensare di migliorare la coerenza con la replica sincrona, forzando prima il Redis Master a replicare e poi mandare l'ack di conferma al client, ma questo riduce pesantemente le prestazioni di scrittura e comunque non si ha una garanzia di consistenza. Infatti, potrebbe verificarsi uno scenario in cui uno slave non ha ricevuto la scrittura e viene promosso a Master.

## Redis Cluster

Uno dei più grandi limiti di Redis, essendo un database in-memory, è la limitazione della memoria che un'istanza di Redis può avere, in quanto tutto il set di dati archiviato non deve mai superare la dimensione massima.

Vi è la possibilità di dividere i dati in diverse istanze eseguite su più server, in modo che ogni istanza contenga solo un sottoinsieme delle chiavi; tutto questo avviene tramite l'operazione di **sharding**, ovvero il partizionamento orizzontale.

Vi sono dei compromessi da considerare: suddividendo i dati in molte istanze, nasce il problema della ricerca delle chiavi, quindi i dati devono essere partizionati seguendo alcune regole coerenti.

Sono possibili diverse implementazioni per il partizionamento dei dati:

- **partizionamento lato client**: i client selezionano direttamente l'istanza corretta per scrivere o leggere una determinata chiave;
- **partizionamento assistito da proxy**: i client inviano le richieste a un proxy che supporta il protocollo Redis, invece di inviare le richieste direttamente alle istanze Redis corrette. Il proxy si assicurerà di inoltrare le richieste alle istanze corrette in base allo schema di partizionamento configurato e invierà le risposte ai client. Il limite principale di questa implementazione è che il proxy può diventare un "collo di bottiglia", poiché tutte le richieste e risposte passano per esso.
- **instradamento della query**: i client inviano la query a un'istanza Redis casuale e l'istanza si assicurerà di inoltrare la query a quella corretta. Il client successivamente dovrà essere reindirizzato all'istanza corretta.

In realtà, Redis Cluster utilizza una **forma ibrida di instradamento della query**, in cui il nodo casuale che viene interrogato non inoltra la query al nodo corretto, ma reindirizza solo il client. I client alla fine ottengono una mappatura completa di quali nodi servono quali sottochiavi e possono contattare direttamente i nodi corretti.

Lo sharding dei dati in molte istanze non risolve il problema della sicurezza dei dati e della ridondanza. Se una delle istanze muore a causa di un guasto hardware e non si hanno backup da cui ripristinare i dati, tutti i dati di quella istanza saranno persi. Per ridurre questo problema si potrebbero utilizzare diverse tecniche, come la replicazione su disco oppure l'architettura master-slave.

Inoltre, le transazioni relative a più chiavi distribuite su più istanze non sono supportate, poiché richiederebbero lo spostamento dei dati tra diversi nodi, con conseguente calo delle prestazioni.



La figura sopra riportata mostra un sistema avanzato in cui si ha una combinazione di Redis Cluster e Redis Master-Slave.



# Capitolo 4

## Interrogazioni SQL $\rightarrow$ *Key-Value*

parlare del tipo di interrogazioni che vengono fatte, c'è un vero e proprio linguaggio strutturato come SQL?



# Capitolo 5

## Caso Concreto - IoT sensore Temperatura

implementazione librerie Redis in linguaggi di programmazione Parlare di Jedis, libreria Java.

Riportare esempi di codice che implementa DataBase.

Descrivere progetto IoT fatto con sensore di temperatura DHT11. utilizzata scheda ESP32 che comunica con database e manda dati a redis server di rilevazione temperatura ogni 5 secondi.

inserire parti di codice sketch arduino per far vedere come comunica con database.

Illustrare software fatto con Java che preleva il dataset da redis server e lo elabora creando un grafico che si aggiorna in tempo reale.





# Bibliografia

Bibliografia