

Specifica Tecnica

v0.1



7Last



Versioni

Ver.	Data	Autore	Verificatore	Descrizione
0.1	02/06/2024	Matteo Tiozzo		Stesura struttura del documento

Indice

1	Introduzione	8
1.1	Scopo della specifica tecnica	8
1.2	Scopo del prodotto	8
1.3	Glossario	8
1.4	Riferimenti	8
1.4.1	Normativi	8
1.4.2	Informativi	9
2	Tecnologie	10
2.1	Docker	10
2.1.1	Ambienti	10
2.1.2	Immagini Docker	10
2.2	Linguaggi e formato dati	12
2.3	Librerie	13
2.4	Servizi	14
2.4.1	Redpanda	14
2.4.1.1	Vantaggi	15
2.4.1.2	Casi d'uso	15
2.4.1.3	Impiego nel progetto	16
2.4.2	ClickHouse	16
2.4.2.1	Vantaggi	16
2.4.2.2	Casi d'uso	17
2.4.2.3	Impiego nel progetto	17
2.4.3	Apache Flink	17
2.4.3.1	Vantaggi	18
2.4.3.2	Casi d'uso	18
2.4.3.3	Impiego nel progetto	19
2.4.4	Grafana	19
2.4.4.1	Vantaggi	19
2.4.4.2	Casi d'uso	20
2.4.4.3	Impiego nel progetto	20
3	Architettura di sistema	21
3.1	<i>Data processing architectures</i>	21
3.1.1	<i>Architettura lambda</i>	21



3.1.1.1	Vantaggi e svantaggi	22
3.1.1.2	Casi d'uso	22
3.1.2	Architettura <i>kappa</i>	22
3.1.2.1	Vantaggi e svantaggi	22
3.1.2.2	Casi d'uso	23
3.2	Architettura scelta	23
3.2.1	Componenti di sistema	23
3.2.2	Flusso di dati	24
3.3	Architettura dei simulatori	25
3.3.1	Modulo <i>models</i>	26
3.3.1.1	Classi, interfacce metodi e attributi	27
3.3.2	Modulo <i>simulators</i>	30
3.3.2.1	<i>Design Pattern</i>	32
3.3.2.1.1	<i>Strategy</i>	32
3.3.2.1.2	<i>Factory</i>	32
3.3.2.2	Classi, interfacce metodi e attributi	32
3.3.3	Modulo <i>producers</i>	36
3.3.3.1	<i>Design Pattern</i>	36
3.3.3.1.1	<i>Strategy</i>	36
3.3.3.1.2	<i>Object Adapter</i>	37
3.3.3.2	Classi, interfacce metodi e attributi	37
3.3.4	Modulo <i>serializers</i>	38
3.3.4.1	<i>Design Pattern</i>	38
3.3.4.1.1	<i>Strategy</i>	38
3.3.4.1.2	<i>Object Adapter</i>	38
3.3.4.2	Classi, interfacce metodi e attributi	40
3.4	Redpanda	41
3.4.1	<i>Topic</i>	41
3.4.2	Partizioni e chiavi	41
3.4.3	Redpanda <i>schema registry</i>	41
3.4.3.1	<i>Compatibility mode</i>	42
3.4.3.2	Serializzazione dei dati	42
3.4.3.2.1	Chiavi	42
3.4.3.2.2	Valori	43
3.4.3.3	Formato dei messaggi	43
3.4.3.3.1	Dati grezzi prodotti dai simulatori	43



3.4.3.3.2	Dati elaborati da Apache Flink	44
3.4.3.4	Altre configurazioni	45
3.4.4	Inizializzazione e configurazione	46
3.4.5	Redpanda Connect	46
3.4.5.1	<i>Sink connector</i> per ClickHouse	46
3.4.5.2	Avro converter	47
3.4.6	Redpanda Console	48
3.5	Apache Flink - <i>Processing layer</i>	48
3.5.1	<i>Watermark</i>	49
3.5.1.1	<i>Heat Index</i>	49
3.5.1.1.1	Modello di calcolo	49
3.5.1.1.1.1	<i>Heat Index</i>	49
3.5.1.1.1.2	Centro di massa o centroide	50
3.5.1.1.1.3	Raggio del cerchio	50
3.5.1.1.2	Flusso di dati	51
3.5.1.1.3	Architettura	51
3.5.1.1.3.1	<i>Object adapter</i>	53
3.5.1.1.3.2	Classi, interfacce metodi e attributi . . .	54
3.5.1.1.4	<i>Deployment</i>	56
3.5.1.2	<i>Charging Efficiency</i> (efficienza delle colonnine elettriche) .	57
3.5.1.2.1	Modello di calcolo	58
3.5.1.2.1.1	<i>Utilization rate</i>	58
3.5.1.2.1.2	<i>Efficiency rate</i>	58
3.5.1.2.2	Flusso di dati	59
3.5.1.2.3	Architettura	60
3.5.1.2.3.1	<i>Object adapter</i>	61
3.5.1.2.3.2	<i>Template method</i>	61
3.5.1.2.3.3	Classi, interfacce metodi e attributi . . .	61
3.6	ClickHouse	65
3.6.1	Funzionalità utilizzate	65
3.6.1.1	<i>Materialized View</i>	65
3.6.1.2	<i>MergeTree</i>	66
3.6.2	Struttura	67
3.6.2.1	Misurazioni <i>air quality</i>	67
3.6.2.2	Misurazioni <i>parking</i>	68
3.6.2.3	Misurazioni <i>recycling point</i>	68



3.6.2.4	Misurazioni <i>temperature</i>	69
3.6.2.5	Misurazioni <i>traffic</i>	70
3.6.2.6	Misurazioni <i>charging station</i>	71
3.6.2.7	Misurazioni <i>precipitation</i>	72
3.6.2.8	Misurazioni <i>river level</i>	73
3.6.2.9	Misurazioni <i>humidity</i>	75
3.6.2.10	Misurazioni <i>heat index</i>	76
3.6.2.11	Misurazioni <i>charging efficiency</i>	76
3.6.2.12	Tabella sensors	77
3.7	Grafana	79
3.7.1	Dashboard	79
3.7.2	ClickHouse datasource plugin	79
3.7.3	Variabili Grafana	80
3.7.3.1	Variabili nella <i>dashboard raw data</i>	80
3.7.3.2	Variabili nella <i>dashboard urban data</i>	80
3.7.3.3	Variabili nella <i>dashboard environmental data</i>	80
3.7.4	Grafana Alerts	81
3.7.4.1	Configurazione delle regole di alert	81
3.7.4.2	Configurazione canale di notifica	82
3.7.5	Altri plugin	82
3.7.5.1	Orchestra Cities Map plugin	82
4	Requisiti	84
4.1	Requisiti funzionali	84

Indice delle tabelle

1	Linguaggi e formato dati	13
2	Librerie utilizzate	14
3	Requisiti funzionali	89

Indice delle immagini

1	Architettura <i>lambda</i>	21
2	Architettura <i>kappa</i>	22
3	Componenti di sistema ad alto livello	24
4	Flusso di dati all'interno del sistema. I sensori di precipitazioni, isole ecologiche, livello dei fiumi e traffico sono stati omessi per chiarezza, ma il percorso di tali dati è analogo a quello dei sensori di qualità dell'aria.	24
5	Diagramma delle classi del modulo <code>models</code> . Per ragioni di spazio, le implementazioni di <code>RawData</code> sono illustrate nel diagramma successivo	27
6	Diagramma delle classi modulo <code>simulators</code> e <code>models</code>	31
7	Diagramma delle classi modulo <code>producers</code> e <code>serializers</code>	39
8	Flusso di dati del <i>job Heat Index</i>	51
9	Architettura del <i>job Heat Index</i>	53
10	Flusso di dati del <i>job Charging Efficiency</i>	59
11	Architettura del <i>job Charging Efficiency</i>	60
12	Tabella <code>air_quality</code>	67
13	Tabella <code>parking</code>	68
14	Tabella <code>recycling_point</code>	69
15	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>temperature</code>	70
16	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>traffic</code>	71
17	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>charging_station</code>	72
18	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>precipitation</code>	73
19	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>river_level</code>	74
20	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>humidity</code>	75
21	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>heat_index</code>	76
22	Tabella <code>charging_efficiency</code>	77
23	Tabelle e <i>materialized view</i> <code>sensors</code>	78
24	Percentuale di soddisfacimento dei requisiti funzionali	89
25	Percentuale di soddisfacimento dei requisiti totale	90



Indice dei listati

1	Esempio di schema Avro per il tipo di dato Temperature	44
2	Schema Avro per il tipo di dato HeatIndex	44
3	Schema Avro per il tipo di dato ChargingEfficiency	45
4	Configurazione del <i>transformer</i> all'interno del file <code>clickhouse.json</code>	47
5	Utilizzo del <i>plugin</i> <code>avro-converter</code> all'interno del file <code>clickhouse.json</code>	47
6	Configurazione del <i>plugin</i> <code>maven-assembly-plugin</code> per la creazione del <i>fat jar</i>	57



1 Introduzione

1.1 Scopo della specifica tecnica

Questo documento è rivolto a tutti gli *stakeholder* coinvolti nel progetto **SyncCity** - *A smart city monitoring platform*. Esso ha lo scopo di fornire una visione dettagliata riguardo l'architettura del sistema, i *design pattern* utilizzati, le tecnologie adottate e le scelte progettuali effettuate. Inoltre, contiene diagrammi UML delle classi e delle attività.

1.2 Scopo del prodotto

Lo scopo del prodotto è realizzare un prototipo di una piattaforma di monitoraggio per una *Smart City*, la quale permetta di raccogliere e analizzare dati provenienti da sensori IoT posizionati nelle città. Questi dati, una volta elaborati, devono essere visualizzati in maniera chiara e intuitiva, tramite grafici e mappe, per permettere alle autorità locali della città di prendere decisioni tempestive e mirate per migliorare la qualità della vita dei cittadini.

1.3 Glossario

Per evitare qualsiasi ambiguità o malinteso sui termini utilizzati nel documento, verrà adottato un glossario. Questo glossario conterrà varie definizioni. Ogni termine incluso nel glossario sarà indicato applicando uno stile specifico:

- aggiungendo una "G" al pedice della parola;
- fornendo il link al glossario online.

1.4 Riferimenti

1.4.1 Normativi

- Standard **ISO 8601**: <https://www.iso.org/iso-8601-date-and-time-format.html>;
- **Capitolato_G d'appalto C6**: *SyncCity_G – A smart city_G monitoring platform*
<https://www.math.unipd.it/~tullio/IS-1/2023/Progetto/C6.pdf>
- **Regolamento di progetto didattico**
<https://www.math.unipd.it/~tullio/IS-1/2023/Dispense/PD2.pdf>



- **Norme di Progetto_G v2.0:**

<https://71last.github.io/docs/pb/documentazione-interna/norme-di-progetto>

1.4.2 Informativi

- **Architettura Kappa e Lambda:**

<https://nexocode.com/blog/posts/lambda-vs-kappa-architecture/> [Ultima consultazione: 2024-07-18];

- **Gestione degli eventi temporali con Apache Flink:** <https://nightlies.apache.org/flink/flink-docs-release-1.18/docs/concepts/time/> [Ultima consultazione: 2024-07-18];

- **Glossario v2.0.0:** <https://71last.github.io/docs/pb/documentazione-interna/glossario>



2 Tecnologie

Questa sezione si occupa di fornire una panoramica delle tecnologie utilizzate per implementare il sistema software. In particolare, delinea le piattaforme, gli strumenti, i linguaggi di programmazione, i framework e altre risorse tecnologiche che sono state impiegate durante lo sviluppo.

2.1 Docker

È una piattaforma di virtualizzazione leggera che semplifica lo sviluppo, il testing e il rilascio delle applicazioni fornendo un ambiente isolato e riproducibile. È utilizzato per creare ambienti di sviluppo standardizzati, facilitare la scalabilità delle applicazioni e semplificare la gestione delle risorse.

2.1.1 Ambienti

Per lo sviluppo di questo progetto sono stati ipotizzati i due seguenti scenari di esecuzione, separati grazie all'utilizzo di profili diversi di Docker Compose:

- **local**: utilizzato dagli sviluppatori per testare e sviluppare le funzionalità dell'applicazione sui propri computer. Questo ambiente permette di eseguire tutti i componenti del sistema all'interno di un container Docker, ad eccezione del simulatore Python. Esso viene eseguito direttamente sul sistema operativo dell'utente, in modo da facilitare il debugging e il testing delle funzionalità, senza dover necessariamente eseguire la *build* dell'immagine Docker ad ogni modifica del codice;
- **release**: utilizzato quando si desidera simulare un ipotetico ambiente di produzione o non è necessario modificare il codice Python. Consente di non dover manualmente installare le dipendenze o configurare l'ambiente di esecuzione. In questo caso, tutti i componenti del sistema vengono eseguiti all'interno di container Docker.

2.1.2 Immagini Docker

Nello sviluppo di questo progetto abbiamo utilizzato diverse immagini Docker, di seguito elencate. Le porte sono indicate nel formato `<porta_host>:<porta_container>`, dove `<porta_host>` è la porta del sistema host a cui si mappa la porta del container `<porta_container>`.

- **Simulator - Python**



- **Immagine:** python:3.11.9-alpine;
- **Riferimento:** [Python Docker Image](#) [Ultima consultazione: 2024-06-02].
- **Ambiente:** release;
- **Redpanda Init:** l'immagine di alpine viene utilizzata per creare un container che si occupa di inizializzare il broker Redpanda.
 - **Immagine:** alpine:3.20.1;
 - **Riferimento:** [Alpine](#) [Ultima consultazione: 2024-06-25].
 - **Ambiente:** local, release.
- **Redpanda**
 - **Immagine:** docker.redpanda.com/redpandadata/redpanda:v23.3.11;
 - **Riferimento:** [Redpanda Docker Image](#) [Ultima consultazione: 2024-06-02].
 - **Ambiente:** local, release;
 - **Porte:**
 - * 18081:18081: *schema registry*;
 - * 18082:18082: *proxy*;
 - * 19092:19092: *broker*.
- **Redpanda console**
 - **Immagine:** docker.redpanda.com/redpandadata/console:v2.4.6;
 - **Riferimento:** [Redpanda Console Docker Image](#) [Ultima consultazione: 2024-06-02].
 - **Ambiente:** local, release;
 - **Porte:**
 - * 8080:8080.
- **Connectors**
 - **Immagine:** docker.redpanda.com/redpandadata/connectors:v1.0.27;
 - **Riferimento:** [Redpanda Connectors Docker Image](#) [Ultima consultazione: 2024-06-02].



- **Ambiente:** `local, release;`
- **Porte:**
 - * `8083:8083.`
- **ClickHouse**
 - **Immagine:** `clickhouse/clickhouse-server:24-alpine;`
 - **Riferimento:** ClickHouse Docker Image [Ultima consultazione: 2024-06-02].
 - **Ambiente:** `local, release.`
 - **Porte:**
 - * `8123:8123.`
- **Apache Flink**
 - **Immagine:** `flink:1.18.1-java17;`
 - **Riferimento:** Flink Docker Image [Ultima consultazione: 2024-06-02].
 - **Ambiente:** `local, release.`
 - **Porte:**
 - * servizio `jobmanager`: `9001:8081` interfaccia *web*;
 - * servizio `taskmanager`: `6121:6121.`
- **Grafana**
 - **Immagine:** `grafana/grafana-oss:10.3.0;`
 - **Riferimento:** Grafana Docker Image [Ultima consultazione: 2024-06-02].
 - **Ambiente:** `local, release.`
 - **Porte:**
 - * `3000:3000.`

2.2 Linguaggi e formato dati



Nome	Versione	Descrizione	Impiego
Python	3.11.9	Linguaggio di programmazione ad alto livello, interpretato e multiparadigma.	Simulatore di sensori, <i>testing</i> , <i>script</i> per automatizzare il <i>deployment</i> dei <i>job</i> di Flink.
JSON	-	Formato di dati semplice da interpretare e generare, ampiamente utilizzato per lo scambio di dati tra applicazioni.	Configurazione <i>dashboard</i> Grafana, definizione di schemi Avro.
YAML	-	Linguaggio di serializzazione dei dati leggibile sia per gli esseri umani sia per le macchine.	Docker Compose, provisioning Grafana e configurazione <i>alert</i> , file di <i>workflow</i> per le GitHub Actions.
SQL	Ansi SQL	Linguaggio di programmazione specificamente progettato per la gestione e la manipolazione di dati all'interno di sistemi di gestione di database.	<i>Query</i> e gestione database ClickHouse.
TOML	1.0.0	Linguaggio di <i>markup</i> progettato per essere più leggibile e facile da scrivere rispetto ad altri formati di configurazione come JSON e YAML.	Configurazione e gestione dei sensori simulati.
Java	17	Linguaggio di programmazione ad alto livello, orientato agli oggetti.	Creazione di <i>job</i> per le aggregazioni dei dati in Apache Flink.

Tabella 1: Linguaggi e formato dati

2.3 Librerie



Python		
Nome	Versione	Impiego
confluent_avro	1.8.0	Serializzazione dei dati in formato Avro.
coverage	7.5.1	Strumento per misurare la percentuale di linee di codice e rami coperti dai test.
isodate	0.6.1	Libreria per la manipolazione delle date e delle ore in formato ISO8601.
kafka-python-ng	2.2.2	Client Kafka per Python.
ruff	0.3.5	Libreria per l'analisi statica del codice.
toml	0.10.2	Libreria per effettuare il parsing dei file di configurazione in formato TOML.
Java		
flink-streaming-java	1.18.0	Utilizzo di DataStream API di Flink.
flink-connector-kafka	3.1.0-1.18	Connessione di Flink a Kafka.
flink-clients	1.18.0	Creazione di <i>job</i> di Flink.
flink-java	1.18.0	Creazione di <i>job</i> di Flink.
flink-avro-confluent-registry	1.18.0	Connessione di Flink a uno <i>schema registry</i> che utilizza Avro.
flink-shaded-guava	31.1-jre-17.0	Gestione delle dipendenze di Flink.
slf4j-simple	1.7.36	Implementazione di SLF4J.
lombok	1.18.32	Libreria per la generazione di codice <i>boilerplate</i> .
maven-assembly-plugin	3.7.1	Plugin Maven per la creazione di un <i>fat jar</i> .

Tabella 2: Librerie utilizzate

2.4 Servizi

2.4.1 Redpanda

Redpanda è una piattaforma di streaming sviluppata in C++. Il suo obiettivo è fornire una soluzione leggera, semplice e performante, pensata per essere un'alternativa ad Apache Kafka. Viene utilizzato per disaccoppiare i dati provenienti dal simulatore.



- **Versione:** v23.3.11;
- **documentazione:** <https://docs.redpanda.com/current/home/> [Ultima consultazione: 2024-06-02].

2.4.1.1 Vantaggi

I vantaggi nell'utilizzo di questo strumento consistono in:

- **performance:** è scritto in C++ e utilizza il *framework* Seastar, offrendo un'architettura *thread-per-core* ad alte prestazioni. Ciò permette di ottenere un'elevata *throughput* e latenze costantemente basse, evitando cambi di contesto e blocchi. Inoltre, è progettato per sfruttare l'*hardware* moderno, tra cui unità NVMe, processori *multi-core* e interfacce di rete ad alta velocità;
- **semplicità di configurazione:** oltre al *message broker*, contiene anche un *proxy* HTTP e uno *schema registry*;
- **minore richiesta di risorse:** rispetto ad Apache Kafka, richiede meno risorse per l'esecuzione in locale, rendendolo più adatto per l'esecuzione su *hardware* meno potente;
- **compatibilità con le API di Kafka:** è compatibile con le API di Apache Kafka, consentendo di utilizzare le librerie e gli strumenti esistenti;

2.4.1.2 Casi d'uso

Tra i casi d'uso di Redpanda si possono citare:

- **streaming di eventi**, permettendo la gestione e l'elaborazione di flussi di dati in tempo reale;
- **data integration**, agisce come un intermediario flessibile e robusto per l'integrazione dei dati, consentendo la raccolta, il trasporto e la trasformazione dei dati provenienti da diverse sorgenti verso varie destinazioni;
- **elaborazione di big data**, permette di gestire e processare enormi volumi di dati in modo efficiente e scalabile;
- **messaggistica real time**, supporta la messaggistica in tempo reale tra applicazioni e sistemi distribuiti.



2.4.1.3 Impiego nel progetto

Il **broker** Redpanda gestisce i dati provenienti dai simulatori e li rende disponibili per i due consumatori. Inoltre, con lo *schema registry* integrato è possibile garantire la compatibilità tra i dati prodotti dai simulatori e i consumatori. I consumatori sono:

- Il **connector sink ClickHouse**, che salva i dati nelle tabelle di ClickHouse;
- **Apache Flink**, che elabora i dati in tempo reale.

2.4.2 ClickHouse

ClickHouse è un sistema di gestione di database colonnare *open-source* progettato per l'analisi dei dati in tempo reale e l'elaborazione di grandi volumi di dati.

- **Versione:** v24-alpine;
- **documentazione:** <https://clickhouse.com/docs/en/intro> [Ultima consultazione: 2024-06-02].

2.4.2.1 Vantaggi

I vantaggi nell'utilizzo di questo strumento consistono in:

- **alte prestazioni**, è progettato per eseguire query analitiche complesse in modo estremamente rapido;
- **scalabilità orizzontale**, può essere scalato orizzontalmente su più nodi, permettendo di gestire grandi volumi di dati;
- **elaborazione in tempo reale**, è in grado di gestire l'ingestione e l'elaborazione dei dati in tempo reale, rendendolo ideale per applicazioni che richiedono l'analisi immediata dei dati appena arrivano;
- **compressione efficiente**, utilizza algoritmi di compressione avanzati per ridurre lo spazio di archiviazione e migliorare l'efficienza I/O;
- **facilità di integrazione**, si integra facilmente con molti strumenti di visualizzazione dei dati e piattaforme di business intelligence come Grafana;
- **partizionamento e indici**, supporta il partizionamento dei dati e l'uso di indici per ottimizzare le query;



2.4.2.2 Casi d'uso

ClickHouse è utilizzato in una varietà di casi d'uso, tra cui:

- **analisi dei log e monitoraggio**, utilizzato per l'analisi e il monitoraggio dei log in tempo reale;
- **business intelligence**, impiegato in applicazioni di BI per eseguire analisi approfondite dei dati aziendali, supportando la presa di decisioni basata sui dati;
- **data warehousing**, funziona come data warehouse per memorizzare e analizzare grandi volumi di dati.

2.4.2.3 Impiego nel progetto

ClickHouse viene utilizzato per memorizzare i dati grezzi provenienti dai simulatori; attraverso il *connector sink* di Redpanda, i *record* pubblicati nei *topic* vengono salvati in tabelle di ClickHouse. Inoltre, tramite l'utilizzo di Materialized Views, vengono effettuate delle semplici aggregazioni sui dati, come ad esempio la media oraria o giornaliera, le quali sono poi memorizzate in apposite tabelle, in modo da poterle monitorare l'andamento nel tempo.

Le aggregazioni più complesse che coinvolgono dati provenienti da sensori differenti sono invece effettuate utilizzando Apache Flink, come meglio descritto nella sezione 2.4.3.

ClickHouse si integra semplicemente con Grafana, attraverso l'utilizzo del plugin `datasource-clickhouse`, fornito da Grafana Labs.

2.4.3 Apache Flink

Apache Flink è un framework open-source per l'elaborazione dei dati in tempo reale e in *batch*. Sviluppato in Java e Scala, è progettato per gestire *data stream* in modo efficiente, consentendo l'elaborazione di grandi volumi di dati in tempo reale. Flink si distingue per la sua capacità di fornire elaborazione a bassa latenza, esecuzione *fault-tolerant* e scalabilità orizzontale. Come sistema di *build* e gestione delle dipendenze, è stato utilizzato Maven.

- **Versione:** v1.18.1;
- **documentazione:** <https://flink.apache.org> [Ultima consultazione: 2024-06-25].



2.4.3.1 Vantaggi

- **elaborazione a bassa latenza:** Flink è progettato per elaborare i dati in tempo reale con latenza estremamente bassa, rendendolo ideale per applicazioni che richiedono risposte rapide ai cambiamenti dei dati.
- **fault tolerance:** Flink utilizza una tecnologia chiamata *Stateful Stream Processing* che garantisce che lo stato dell'applicazione venga memorizzato in modo sicuro e possa essere recuperato in caso di guasti. Questo consente un'elaborazione affidabile e continua anche in presenza di errori hardware o software.
- **scalabilità:** Flink può scalare orizzontalmente su cluster di grandi dimensioni, distribuendo il carico di lavoro tra molteplici nodi per gestire volumi di dati crescenti senza compromettere le prestazioni.
- **modello di programmazione flessibile:** Flink offre due tipologie di API per l'elaborazione dei dati: *DataStream API*, utilizzato per l'elaborazione di flussi di dati non strutturati in tempo reale, e *Table API*, un'astrazione di livello superiore per manipolare dati strutturati come tabelle, facilitando l'uso di operazioni simili a SQL;
- **supporto per analisi complesse:** Flink fornisce potenti funzionalità di analisi come aggregazioni, join e *windowing*, che consentono di realizzare analisi complesse sui flussi di dati.

2.4.3.2 Casi d'uso

Tra i principali casi d'uso di Apache Flink si trovano:

- **applicazioni event-driven:** applicazioni *stateful* che elaborano eventi provenienti da uno o più flussi di eventi e reagiscono agli eventi in ingresso attivando calcoli, aggiornamenti di stato o azioni esterne;
- **data analytics:** estrazione di informazioni e *insight* a partire dall'elaborazione dei dati grezzi, sia in *real time* che in modalità *batch*;
- **data pipeline:** ad esempio per la costruzione di *Extract-transform-load* (ETL) o integrazione di dati provenienti da sorgenti differenti.



2.4.3.3 Impiego nel progetto

Per ciascuno degli indici in seguito elencati è stato sviluppato un *job* in Apache Flink; i dettagli implementativi di ciascuno di essi sono meglio discussi nella sezione 3.5.

- **Heat Index:** una misura che combina la temperatura dell'aria e l'umidità relativa per determinare la temperatura percepita dall'uomo. Questa misura riflette meglio il livello di disagio che una persona potrebbe sperimentare rispetto alla sola temperatura dell'aria;
- **Charging Efficiency:** combinando i dati provenienti dai sensori di occupazione dei parcheggi e all'utilizzo delle colonnine di ricarica (relative allo stesso parcheggio), si calcola l'efficienza di utilizzo di queste ultime; viene calcolato sia un indice di utilizzo (*utilization_rate*) nel periodo di tempo considerato, sia un indice di efficienza (*efficiency_rate*) che rappresenta quanto tempo la colonnina è stata effettivamente utilizzata rispetto al tempo in cui il parcheggio è stato occupato.

2.4.4 Grafana

È una potente piattaforma di visualizzazione dei dati progettata per creare, esplorare e condividere *dashboard* interattive che visualizzano metriche, *log* e altri dati di monitoraggio in tempo reale.

- **Versione:** v10.3.0;
- **documentazione:** <https://grafana.com/docs/grafana/v10.4/> [Ultima consultazione: 2024-06-02].

2.4.4.1 Vantaggi

- **Facilità d'uso:** possiede un'interfaccia intuitiva che rende facile la creazione e la gestione delle dashboard;
- **flessibilità:** La capacità di integrarsi con molteplici sorgenti dati e l'ampia gamma di plugin disponibili la rendono estremamente flessibile;
- **personalizzazione:** permette una personalizzazione completa delle dashboard, soddisfacendo ogni possibile necessità di visualizzazione dei dati;



- **gestione degli accessi:** offre funzionalità avanzate di gestione degli accessi e delle autorizzazioni, consentendo di controllare chi può accedere alle *dashboard* e quali azioni possono eseguire.

2.4.4.2 Casi d'uso

- **Monitoraggio delle infrastrutture:** utilizzato per monitorare le prestazioni e la disponibilità delle infrastrutture IT, inclusi server, database, servizi cloud e altro;
- **analisi delle performance delle applicazioni:** utilizzato per monitorare le prestazioni delle applicazioni e identificare eventuali problemi di prestazioni;
- **analisi delle serie temporali:** utilizzato per visualizzare e analizzare dati di serie temporali, come metriche di monitoraggio, log e dati di sensori;
- **business intelligence:** utilizzato per creare *dashboard* personalizzate per l'analisi dei dati aziendali e la visualizzazione delle metriche chiave.

2.4.4.3 Impiego nel progetto

- **Visualizzazione dei dati:** creazione *dashboard* interattive che visualizzano i dati salvati su ClickHouse;
- **notifiche superamento soglie:** invio di notifiche nel caso in cui vengano superate delle soglie prestabilite, che rappresentano situazioni di eventuale pericolo, forte disagio o disservizio per i cittadini.



3 Architettura di sistema

3.1 Data processing architectures

Le architetture di tipo *data processing* sono progettate per gestire l'*ingestion*, *processing* e memorizzazione di grandi quantità di dati. Esse permettono di analizzare e ottenere informazioni utili (*insight*) da questi dati, consentendo di ottimizzare i processi decisionali e migliorare le prestazioni aziendali. Esistono diverse architetture, ciascuna con le proprie caratteristiche e vantaggi. Tra le più comuni troviamo l'architettura *lambda* e l'architettura *kappa*.

3.1.1 Architettura *lambda*

L'architettura *lambda* è costituita dalle seguenti quattro componenti:

- **sorgente di dati**: responsabile dell'acquisizione dei dati grezzi da diverse sorgenti;
- **batch layer**: responsabile dell'elaborazione e persistenza di dati storici in *batch* di grandi dimensioni; il suo scopo è fornire risposte complete e accurate, anche se con una latenza più elevata rispetto allo *speed layer*. Tale componente è tipicamente rappresentata da *framework* come Apache Hadoop o Apache Spark;
- **speed (real-time) layer**: responsabile dell'elaborazione e persistenza di dati in tempo reale. I dati vengono elaborati in modo rapido e con una latenza molto bassa, fornendo tuttavia risposte elaborate rispetto al *batch layer*. Questa componente è tipicamente rappresentata da *framework* come Apache Storm o Apache Flink;
- **serving layer**: responsabile della fornitura dei dati elaborati in modo veloce ed affidabile, indipendentemente dal *layer* di elaborazione utilizzato.

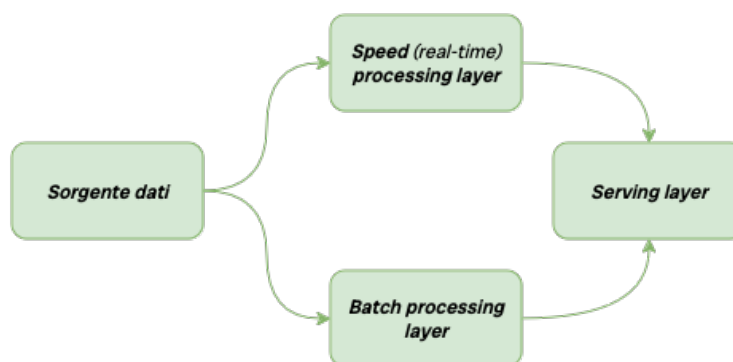


Figura 1: Architettura *lambda*

3.1.1.1 Vantaggi e svantaggi

L'architettura *lambda* offre diversi vantaggi, tra cui la **scalabilità orizzontale**, la **tolleranza ai guasti** e la **flessibilità**. Tuttavia, la presenza di due *layer* di elaborazione separati può portare a problemi di coerenza dei dati, duplicazione della logica di aggregazione e complessità aggiuntiva nella gestione del sistema. Inoltre, rispetto all'architettura *kappa*, l'architettura *lambda* può avere una latenza più elevata.

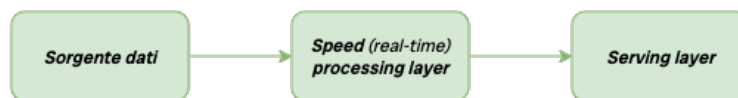
3.1.1.2 Casi d'uso

L'architettura *lambda* è particolarmente adatta per applicazioni che richiedono sia un'analisi sui dati in tempo reale che un'analisi storica.

3.1.2 Architettura *kappa*

L'architettura *kappa* è stata introdotta per semplificare l'architettura *lambda*, eliminando la necessità di gestire due *layer* di elaborazione separati per il *batch processing* e il *real-time processing*. Essa si divide in tre componenti principali:

- **sorgente di dati**: responsabile dell'acquisizione dei dati grezzi da diverse sorgenti;
- **processing layer**: responsabile dell'elaborazione dei dati in tempo reale, senza la necessità di separare i dati in *batch* e *real-time*;
- **serving layer**: responsabile della fornitura dei dati elaborati in modo veloce ed affidabile.

Figura 2: Architettura *kappa*

3.1.2.1 Vantaggi e svantaggi

L'architettura *kappa* offre diversi vantaggi, tra cui la **semplicità**, la **riduzione dei costi** e la **bassa latenza**. Tuttavia, può non essere adatta per applicazioni che richiedono un'analisi storica dei dati.



3.1.2.2 Casi d'uso

L'architettura *kappa* è particolarmente adatta per gli scenari in cui sono critici i dati in tempo reale e l'analisi dei dati storici è meno importante. Inoltre, semplifica notevolmente il processo di sviluppo e manutenzione dei sistemi di elaborazione dei dati.

3.2 Architettura scelta

Nello scenario del capitolato proposto da *SyncLab S.r.L.*, è importante l'analisi in tempo reale, in quanto i dati provenienti dai sensori IoT devono fornire informazioni sempre aggiornate ed eventualmente sollevare allarmi in caso di situazioni critiche. Inoltre, non è richiesta l'aggregazione storica di dati, dunque i vantaggi dell'architettura *lambda* non risultano utili per i nostri fini. Per soddisfare tali requisiti, è stata dunque scelta l'architettura *kappa*.

3.2.1 Componenti di sistema

All'interno del sistema progettato sono dunque presenti le seguenti componenti:

- **sorgenti di dati:** costituite dal simulatore di sensori, il quale genera i dati grezzi che in un contesto reale sarebbero provenienti dai sensori IoT;
- **streaming layer:** gestisce il flusso di dati in tempo reale provenienti dai sensori. È composto da *Redpanda* e lo *Schema Registry*;
- **processing layer:** elabora i dati in tempo reale per calcolare metriche e indici. È composto da *Apache Flink*;
- **storage layer:** memorizza i dati elaborati per l'analisi e la visualizzazione. È composto da *ClickHouse*;
- **data visualization layer:** fornisce un'interfaccia utente per visualizzare i dati elaborati. È composto da *Grafana*.

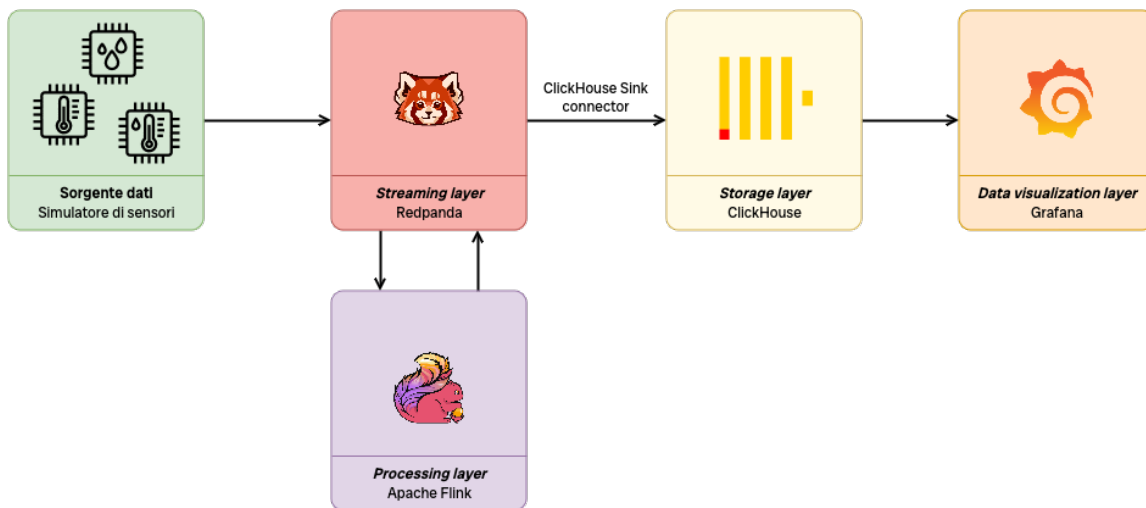


Figura 3: Componenti di sistema ad alto livello

3.2.2 Flusso di dati

Per illustrare il flusso di dati all'interno del sistema, è stato realizzato il seguente diagramma, il quale mostra il percorso che i dati grezzi seguono dal simulatore fino alla visualizzazione tramite Grafana.

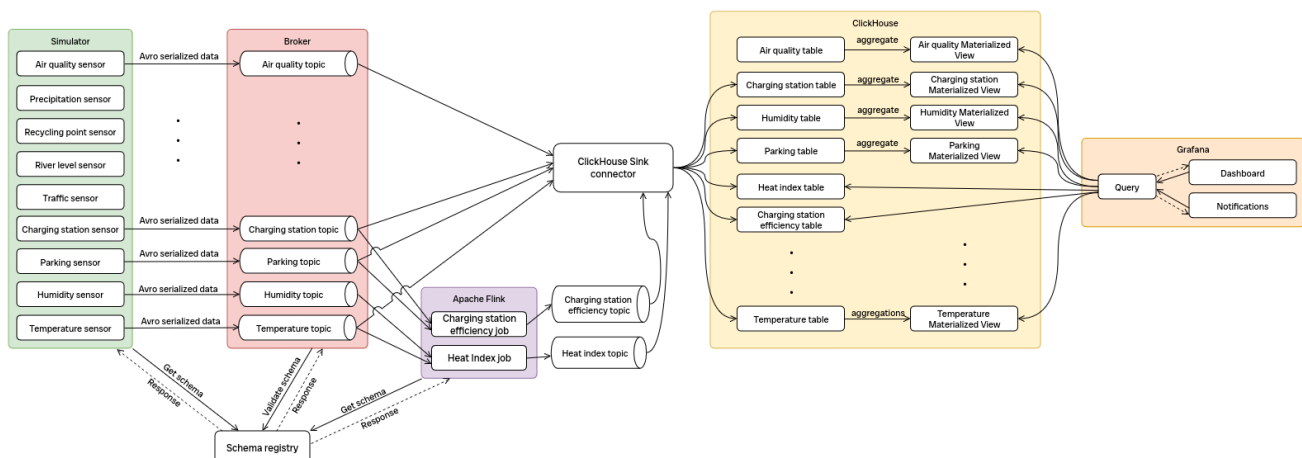


Figura 4: Flusso di dati all'interno del sistema. I sensori di precipitazioni, isole ecologiche, livello dei fiumi e traffico sono stati omessi per chiarezza, ma il percorso di tali dati è analogo a quello dei sensori di qualità dell'aria.

Il flusso seguito dai dati si può riassumere nei seguenti passaggi:



1. **generazione dei dati:** ciascun simulatore emula il comportamento di un singolo sensore IoT, generando ad intervalli periodici o ad eventi (*event-driven*) i dati grezzi relativi alla propria tipologia di dato.
2. **serializzazione e produzione dei dati:** i dati grezzi generati nel punto precedente vengono serializzati utilizzando il formato Confluent Avro e inviati nel *topic* corrispondente al tipo di dato generato;
3. **elaborazione dei dati:** i *topic* contenenti i dati grezzi di temperatura, umidità, occupazione dei parcheggi e colonnine di ricarica vengono consumati da Apache Flink. Due *job* distinti si occupano di calcolare la temperatura percepita e il grado di efficienza delle colonnine di ricarica. Una volta elaborati, i dati vengono inviati rispettivamente nei *topic* `heat_index` e `charging_station_efficiency`;
4. **memorizzazione dei dati:** attraverso il connettore *sink* per ClickHouse, i dati pubblicati in tutti i *topic* vengono memorizzati nel database;
5. **aggregazioni con *materialized view*:** attraverso l'utilizzo di *materialized view* in ClickHouse, vengono calcolate le statistiche relative ai dati memorizzati, come ad esempio la media oraria o giornaliera. Tali aggregazioni sono più semplici rispetto a quelle effettuate da Flink, in quanto non richiedono elaborazioni complesse sui dati;
6. **visualizzazione dei dati:** i dati memorizzati in ClickHouse vengono visualizzati tramite Grafana, che permette di creare *dashboard* personalizzate per monitorare i dati in tempo reale;
7. **notifiche:** Grafana esegue periodicamente delle *query* per verificare se sono state superate delle soglie predeterminate. In caso affermativo, vengono inviate notifiche tramite il canale Discord dedicato, in modo tale da poter avvisare l'autorità locale.

3.3 Architettura dei simulatori

I simulatori vengono utilizzati per produrre dati grezzi che sostituiscono le rilevazioni effettuate dai sensori IoT in un contesto reale. Per tale motivo, questa parte del sistema non è ufficialmente parte del prodotto finale, ma è stata sviluppata per scopi di *test* e dimostrativi nell'ambito del progetto didattico; ai fini di quest'ultimo, il gruppo ha deciso di dedicare alcune risorse per la progettazione.

Nei paragrafi successivi verranno descritti i moduli che compongono i simulatori, le classi



e metodi principali e i *design pattern* utilizzati.

Sono stati implementati simulatori per i seguenti tipi dato:

- qualità dell'aria;
- precipitazioni;
- isole ecologiche;
- livello dei fiumi;
- traffico;
- colonnine di ricarica;
- parcheggi;
- temperatura;
- umidità.

3.3.1 Modulo `models`

Questo modulo contiene le classi che rappresentano i dati grezzi generati dai sensori (sottomodulo `raw_data`) e la configurazione dei sensori stessi (sottomodulo `config`) letta dal file di configurazione `sensors.toml` e dalle variabili d'ambiente.

Ciascun tipo di dato grezzo è rappresentato da una classe che estende `RawData` (astratta). La classe `SensorConfig` riceve nel costruttore la configurazione sotto forma di dizionario, effettua *parsing*, validazione, popola con valori di *default* i campi mancanti (nel caso lo prevedano) ed inizializza i propri attributi, corrispondenti ai campi del file di configurazione. Allo stesso modo, `EnvConfig` legge le variabili d'ambiente ed espone il metodo `bootstrap_server()` che combina *host* e *port* per formare l'indirizzo del *broker* Kafka.

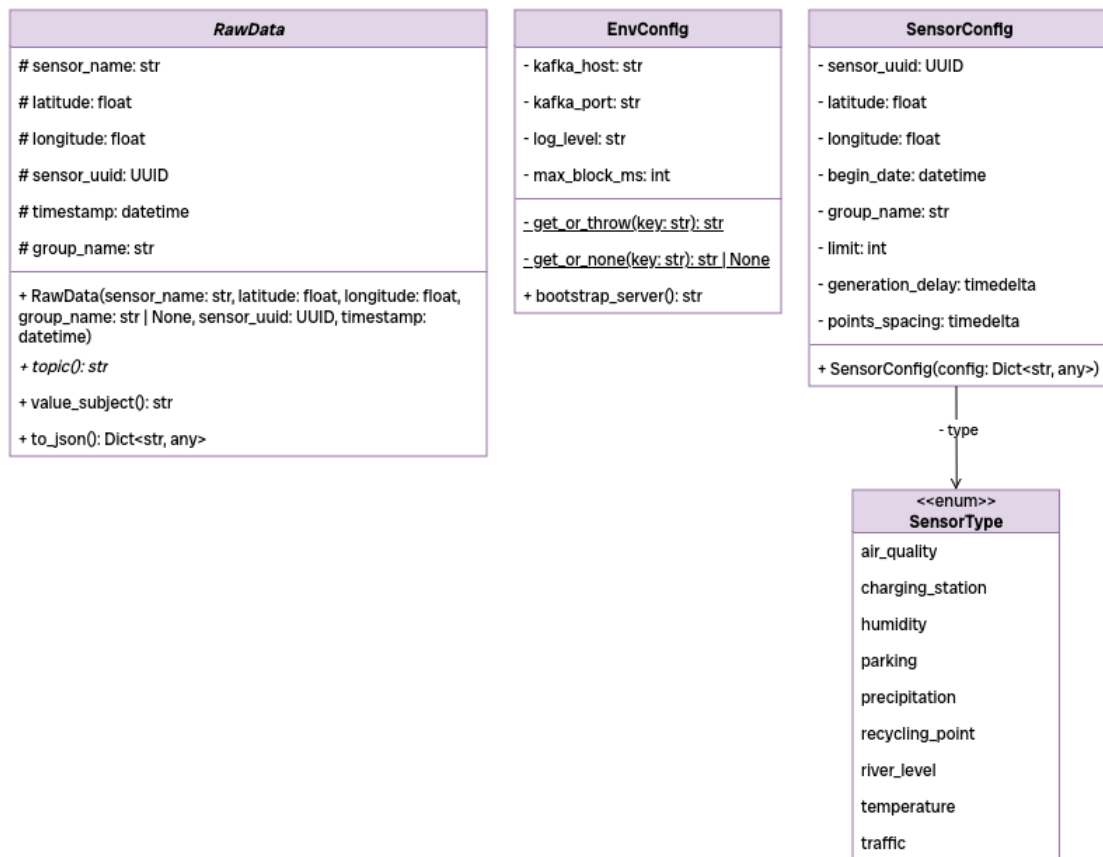


Figura 5: Diagramma delle classi del modulo `models`. Per ragioni di spazio, le implementazioni di `RawData` sono illustrate nel diagramma successivo

3.3.1.1 Classi, interfacce metodi e attributi

- **Classe astratta** `RawData`:

- **Attributi**

- * `sensor_uuid` string [protected]: identificativo univoco del sensore;
 - * `latitude` float [protected]: latitudine del sensore;
 - * `longitude` float [protected]: longitudine del sensore;
 - * `sensor_name` string [protected]: nome del sensore;
 - * `group_name` string [protected]: nome del gruppo di sensori a cui appartiene.

- **Metodi**



- * `topic()` string [public,abstract]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati;
- * `value_subject()` string [public]: restituisce il nome del campo *value* del record.

- **Classe EnvConfig:**

- **Attributi**

- * `kafka_host` string [private]: *host* del *broker* Kafka;
 - * `kafka_port` string [private]: porta del *broker* Kafka;
 - * `log_level` string [private]: livello di *logging* da utilizzare;
 - * `max_block_ms` int [private]: tempo massimo di blocco per la produzione di messaggi.

- **Metodi**

- * `get_or_throw(key: string)` string [private,static]: restituisce il valore della variabile d'ambiente associato alla chiave *key* se presente, altrimenti lancia un'eccezione;
 - * `get_or_none(key: string)` string [private,static]: restituisce il valore della variabile d'ambiente associato alla chiave *key* se presente, altrimenti *None*;
 - * `bootstrap_server()` string [public]: restituisce l'indirizzo del *broker* Kafka.

- **Classe SensorConfig:**

- **Attributi**

- * `sensor_uuid` string [private]: identificativo univoco del sensore;
 - * `limit` int [private]: limite massimo di misurazioni da effettuare;
 - * `begin_date` datetime [private]: data e ora di inizio delle misurazioni;
 - * `latitude` float [private]: latitudine del sensore;
 - * `longitude` float [private]: longitudine del sensore;
 - * `group_name` string [private]: nome del gruppo di sensori a cui appartiene;
 - * `type` *SensorType* [private]: tipo di sensore;
 - * `points_spacing` timedelta [private]: intervallo temporale tra due misurazioni;
 - * `generation_delay` timedelta [private]: ritardo tra la generazione di due misurazioni adiacenti.



- **Enum `SensorType`:**

- **Valori**

- * `AIR_QUALITY`
 - * `PARKING`
 - * `RECYCLING_POINT`
 - * `TEMPERATURE`
 - * `TRAFFIC`
 - * `CHARGING_STATION`
 - * `PRECIPITATION`
 - * `RIVER_LEVEL`
 - * `HUMIDITY`

- **Metodi**

- * `from_str(value: string) SensorType [public,static]`: restituisce il valore dell'enum corrispondente alla stringa `value`.

- **Classe `AirQualityRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic() str [public]`: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `ChargingStationRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic() str [public]`: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `HumidityRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic() str [public]`: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `ParkingRawData`**

- **Metodi:**



- * `topic()` str [public]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `PrecipitationRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic()` str [public]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `RecyclingPointRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic()` str [public]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `RiverLevelRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic()` str [public]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `TemperatureRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic()` str [public]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

- **Classe `TrafficRawData`**

- **Metodi:**

- * `topic()` str [public]: restituisce il nome del *topic* in cui i dati grezzi vanno pubblicati.

3.3.2 Modulo `simulators`

Il modulo `simulators` contiene la logica per la generazione dei dati grezzi e l'orchestrazione dei simulatori.

L'*entrypoint* di tutto il sistema è la classe `SimulatorExecutor`, che riceve la configurazione dei sensori ed utilizzando il `SimulatorFactory` crea un `SimulatorThread` per ogni sensore.



Quest'ultimo, a partire da una *SimulatorStrategy* ed una *ProducerStrategy*, genera i dati grezzi e li invia al *Producer*.

La classe *SimulatorThread* utilizza un *threading.Event*, che contiene un *flag* booleano. Quest'ultimo può essere impostato a *True* per far partire il *thread*; il metodo *wait()* permette di mettere in attesa il *thread* fino a quando il *flag* è impostato a *True*, per un periodo di tempo massimo espresso dal parametro *timeout*.

Tale metodo è utilizzato per attendere un determinato periodo di tempo tra la generazione di due misurazioni.

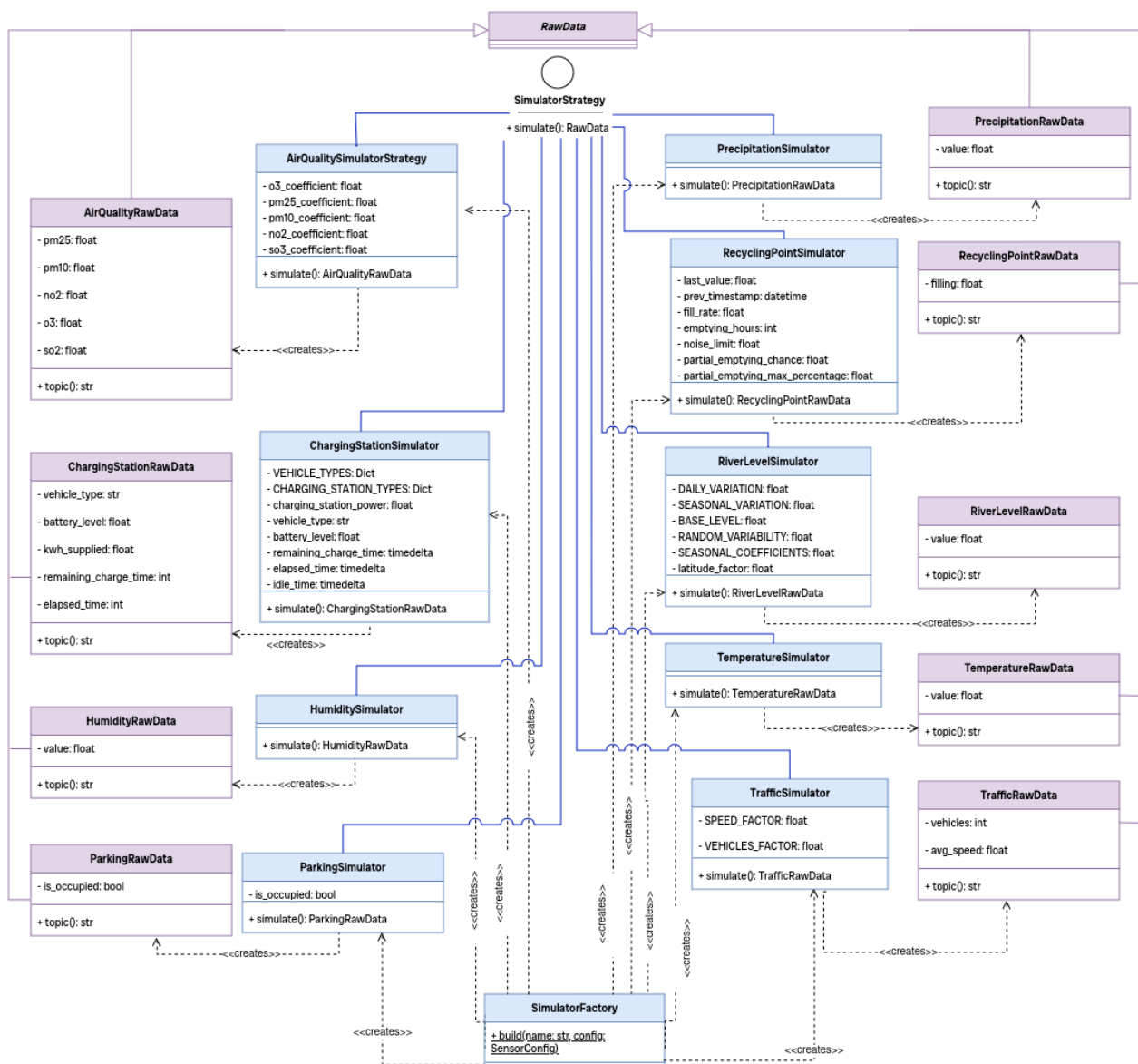




Figura 6: Diagramma delle classi modulo `simulators` e `models`.

3.3.2.1 *Design Pattern*

3.3.2.1.1 *Strategy*

All'interno del modulo `simulators` è stato utilizzato il *design pattern Strategy* per permettere la generazione di dati grezzi di diversi tipi. Ciascuna tipologia simulatore implementa l'interfaccia `SimulatorStrategy` che definisce il metodo `simulate()`. In questo modo, la classe `SimulatorThread` può eseguire il simulatore senza conoscere il tipo di dato generato, rendendo inoltre semplice l'aggiunta di nuovi tipi di dati grezzi senza dover modificare il codice esistente.

3.3.2.1.2 *Factory*

La classe `SimulatorFactory` implementa il *design pattern Factory*, fornendo un metodo che si occupa della creazione dei simulatori a partire da un valore dell'enum `SensorType`.

3.3.2.2 Classi, interfacce metodi e attributi

- **Classe `SimulatorExecutor`**

- **Attributi:**

- * `simulator_threads` `List[SimulatorThread]` [private]: lista dei simulatori da eseguire;
 - * `stop_event`: `threading.Event` [private]: evento utilizzato per tenere attivo il *thread* principale dopo aver lanciato i *thread* dei simulatori.

- **Metodi:**

- * `stop_all()` `None` [public]:
 - * `run()` `None` [public]:

- **Classe `SimulatorFactory`**

- **Metodi:**

- * `build(name: str, config: SensorConfig)` `SimulatorStrategy` [public, static]: restituisce un'istanza del simulatore corrispondente al nome `name`.



- **Interfaccia SimulatorStrategy**

- **Attributi:**

- * `generation_delay` `timedelta` [protected]: ritardo tra la generazione di due misurazioni adiacenti.
 - * `group_name` `str` [protected]: nome del gruppo di sensori a cui appartiene il sensore;
 - * `latitude` `float` [protected]: latitudine del sensore;
 - * `limit` `int` [protected]: limite massimo di misurazioni da produrre;
 - * `longitude` `float` [protected]: longitudine del sensore;
 - * `points_spacing` `timedelta` [protected]: intervallo temporale tra due misurazioni;
 - * `sensor_name` `str` [protected]: nome del sensore per cui il simulatore genera dati;
 - * `sensor_uuid` `str` [protected]: identificativo univoco del sensore per cui il simulatore genera dati;
 - * `timestamp` `datetime` [protected]: data e ora dell'ultima misurazione;

- **Metodi:**

- * `simulate` `RawData` [public]: metodo che simula la generazione di dati grezzi;

- **Classe SimulatorThread**

- **Attributi:**

- * `simulator` `SimulatorStrategy` [private]: simulatore da eseguire;
 - * `event` `threading.Event` [private]: evento utilizzato per fermare, far partire o lasciare in attesa il *thread* del simulatore.

- **Metodi:**

- * `run()` `None` [public]: esegue il simulatore;
 - * `is_running()` `bool` [public]: restituisce `True` se il *thread* è in esecuzione, `False` altrimenti;
 - * `stop()` `None` [public]: ferma il *thread* del simulatore.

- **Classe AirQualitySimulatorStrategy**

- **Attributi:**



- * `o3_coefficient` float [private]: coefficiente randomico utilizzato per generare il valore di `o3`;
- * `pm25_coefficient` float [private]: coefficiente randomico utilizzato per generare il valore di `pm25`;
- * `pm10_coefficient` float [private]: coefficiente randomico utilizzato per generare il valore di `pm10`;
- * `no2_coefficient` float [private]: coefficiente randomico utilizzato per generare il valore di `no2`;
- * `so2_coefficient` float [private]: coefficiente randomico utilizzato per generare il valore di `so2`;

– **Metodi:**

- * `simulate()` AirQualityRawData [public]: genera un dato di tipo AirQualityRawData;

• **Classe ChargingStationSimulatorStrategy**

– **Attributi:**

- * `VEHICLE_TYPES` Dict[str, Dict[str, float]] [private]: dizionario contenente i tipi di veicoli supportati e la capacità minima e massima della batteria;
- * `CHARGING_STATION_TYPES` Dict[str, Dict[str, float]] [private]: dizionario contenente i tipi di colonnine di ricarica supportati e la potenza minima e massima;
- * `charging_station_power` float [private]: potenza della colonnina di ricarica;
- * `vehicle_type` str [private]: tipo di veicolo supportato dalla colonnina di ricarica;
- * `battery_level` float [private]: livello di carica della batteria;
- * `remaining_charge_time` timedelta [private]: tempo rimanente per completare la ricarica;
- * `elapsed_time` timedelta [private]: tempo trascorso dall'inizio della ricarica;
- * `idle_time` timedelta [private]: tempo in cui la colonnina di ricarica è inattiva;

– **Metodi:**

- * `simulate()` ChargingStationRawData [public]: genera un dato di tipo ChargingStationRawData;

• **Classe HumiditySimulatorStrategy**

– **Metodi:**



- * `simulate()` `HumidityRawData` [public]: genera un dato di tipo `HumidityRawData`;

- **Classe `ParkingSimulatorStrategy`**

- **Attributi:**

- * `is_occupied` `bool` [private]: indica se il parcheggio è occupato;

- **Metodi:**

- * `simulate()` `ParkingRawData` [public]: genera un dato di tipo `ParkingRawData`;

- **Classe `PrecipitationSimulatorStrategy`**

- **Metodi:**

- * `simulate()` `PrecipitationRawData` [public]: genera un dato di tipo `PrecipitationRawData`;

- **Classe `RecyclingPointSimulatorStrategy`**

- **Attributi:**

- * `last_value` `float` [private]: ultimo valore generato;

- * `prev_timestamp` `datetime` [private]: data e ora dell'ultima misurazione;

- * `fill_rate` `float` [private]: tasso di riempimento del contenitore;

- * `emptying_hours` `int` [private]: ore necessarie per svuotare il contenitore;

- * `noise_limit` `float` [private]: quantità massima di rumore da aggiungere al valore generato;

- * `partial_emptying_chance` `float` [private]: probabilità di svuotamento parziale;

- * `partial_emptying_max_percentage` `float` [private]: percentuale massima di svuotamento parziale;

- **Metodi:**

- * `simulate()` `RecyclingPointRawData` [public]: genera un dato di tipo `RecyclingPointRawData`;

- **Classe `RiverLevelSimulatorStrategy`**

- **Attributi:**

- * `DAILY_VARIATION` `float` [private]: variazione giornaliera massima del livello del fiume;



- * SEASONAL_VARIATION float [private]: variazione stagionale massima del livello del fiume;
- * BASE_LEVEL float [private]: livello base del fiume;
- * RANDOM_VARIABILITY float [private]: massima variazione casuale del livello del fiume;
- * SEASONAL_COEFFICIENTS Dict[int, float] [private]: coefficienti stagionali per la variazione del livello del fiume;
- * latitude_factor float [private]: fattore moltiplicativo per la latitudine;

– **Metodi:**

- * simulate() RiverLevelRawData [public]: genera un dato di tipo RiverLevelRawData;

- **Classe TemperatureSimulatorStrategy**

– **Metodi:**

- * simulate() TemperatureRawData [public]: genera un dato di tipo TemperatureRawData;

- **Classe TrafficSimulatorStrategy**

– **Attributi:**

- * SPEED_FACTOR float [private]: fattore moltiplicativo per la velocità;
- * VEHICLES_FACTOR [private]: fattore moltiplicativo per il numero di veicoli;

– **Metodi:**

- * simulate() TrafficRawData [public]: genera un dato di tipo TrafficRawData;

3.3.3 Modulo producers

Il modulo producers contiene le classi che si occupano della produzione dei dati grezzi.

3.3.3.1 Design Pattern

3.3.3.1.1 Strategy

Analogamente a quanto effettuato nel modulo *simulators*, anche in questo caso è stato utilizzato il *design pattern Strategy* per permettere la produzione di dati grezzi di diversi tipi. Sono stati implementati due produttori: *KafkaProducerAdapter* e *StdOutProducer*, rispettivamente per la produzione di dati su Kafka e su *standard output*.



3.3.3.1.2 *Object Adapter*

Al fine di adattare la classe `KafkaProducer`, contenuta nella libreria `kafka`, abbiamo utilizzato il *design pattern Adapter*, nella sua variante *Object Adapter*. Esso consente di rendere compatibile con l'interfaccia `ProducerStrategy` la classe `KafkaProducer`, la quale potrebbe subire cambiamenti da noi non controllabili. In tale eventualità, il *pattern Adapter* consente di poter continuare ad utilizzare tale classe senza dover modificare altre parti del sistema.

3.3.3.2 Classi, interfacce metodi e attributi

- **Interfaccia `ProducerStrategy`**

- **Attributi:**

- * `serialization_strategy SerializationStrategy [protected]`: strategia di serializzazione dei dati grezzi.

- **Metodi:**

- * `produce(data: RawData) bool [public]`: metodo che produce i dati grezzi in base alla strategia utilizzata, ritornando `True` in caso di successo, `False` altrimenti.

- **Classe `KafkaProducerAdapter`**

- **Attributi:**

- * `serialization_strategy SerializationStrategy [protected]`: strategia di serializzazione dei dati grezzi.
 - * `adaptee KafkaProducer [private]`: produttore di dati su Kafka.

- **Metodi:**

- * `produce(data: RawData) bool [public]`: produce i dati grezzi su Kafka, ritornando `True` in caso di successo, `False` altrimenti.

- **Note:**

- * la classe `KafkaProducerAdapter` si appoggia alla libreria `kafka` per interagire con il *broker*, realizzando il *pattern Adapter* per adattare la classe `KafkaProducer` all'interfaccia `ProducerStrategy`.

- **Classe `StdOutProducer`**



– **Attributi:**

- * `serialization_strategy` `SerializationStrategy` [protected]: strategia di serializzazione dei dati grezzi.

– **Metodi:**

- * `produce(data: RawData) bool` [public]: produce i dati grezzi su *standard output*.

3.3.4 Modulo `serializers`

Il modulo `serializers` contiene le classi che si occupano della serializzazione dei dati grezzi. Questi vengono serializzati in due formati: JSON e Confluent Avro. La serializzazione in JSON viene principalmente utilizzata per il *debugging* e la visualizzazione dei dati grezzi su *standard output*, mentre la serializzazione in Avro per l'effettiva produzione dei dati su Kafka.

3.3.4.1 *Design Pattern*

3.3.4.1.1 *Strategy*

Abbiamo deciso di utilizzare il *design pattern Strategy* per convertire le istanze di `RawData` in *byte*, senza dover modificare il codice che le utilizza; per tale motivo sono state implementate le classi

`JsonSerializationStrategy` e `AvroSerializationStrategy`. `DictSerializable` è un'interfaccia che definisce il metodo `to_dict()`, il quale restituisce un dizionario Python. L'interfaccia `SerializationStrategy` definisce il metodo `serialize(data: DictSerializable)`, che prende in input un `DictSerializable` restituisce i *byte* corrispondenti. `AvroSerializationStrategy` si appoggia sulla libreria `confluent_avro` per interagire con lo *schema registry* e costruire un oggetto di tipo `AvroValueSerde`, necessario per la serializzazione a partire da uno schema Avro e un dizionario.

3.3.4.1.2 *Object Adapter*

Entrambe le classi `JsonSerializationStrategy` e `AvroSerializationStrategy` necessitano di convertire un oggetto di tipo `RawData` in un dizionario Python prima della serializzazione vera e propria. Nel primo caso poi la conversione in *byte* è direttamente effettuata dal metodo `dumps()` della libreria `json`. Nel secondo caso invece, il dizionario costituisce



Figura 7: Diagramma delle classi modulo producers e serializers

3.3.4.2 Classi, interfacce metodi e attributi

- **Interfaccia SerializationStrategy**

- **Metodi:**

- * `serialize(data: DictSerializable) bytes [public]`: metodo che serializza i dati grezzi in *byte*.

- **Interfaccia DictSerializable**

- **Metodi:**

- * `to_dict() dict [public]`: metodo che restituisce un dizionario Python.

- **Classe AvroSerializationStrategy**

- **Attributi:**

- * `schemas_path str [private]`: percorso della cartella contenente gli schemi Avro;
 - * `registry_client SchemaRegistry [private]`: client per interagire con lo schema registry, contenuto nella libreria `confluent_avro`;
 - * `serde_by_subject Dict[str, (AvroValueSerde, str)] [private]`: *cache* per memorizzare gli oggetti `AvroValueSerde` e gli schemi Avro associati.

- **Metodi:**

- * `serialize(data: DictSerializable) bytes [public]`: serializza i dati grezzi in *byte* utilizzando il formato Confluent Avro.

- **Classe DictRawDataAdapter**

- **Metodi:**

- * `to_dict() dict [public]`: restituisce un dizionario Python a partire da un'istanza di `RawData`;
 - * `beautify_key(key: str) str [private]`: formatta una chiave del dizionario;
 - * `beautify_value(value: object) str [private]`: formatta un valore del dizionario.

- **Classe JsonSerializationStrategy**



– Metodi:

```
* serialize(data: DictSerializable) bytes [public]:
```

3.4 Redpanda

3.4.1 *Topic*

Nel contesto di Redpanda, un *topic* è una categoria o canale a cui vengono inviati i dati. Essi sono utili per organizzare logicamente i diversi tipi di messaggi o eventi. Nel nostro sistema, i dati grezzi provenienti dai simulatori vengono pubblicati in un *topic* differente per ciascun tipo di dato; ciò consente di elaborare in modo indipendente le varie tipologie di messaggi.

3.4.2 Partizioni e chiavi

I *topic* possono essere suddivisi in più partizioni, le quali consentono la distribuzione del carico di lavoro tra più *broker* Redpanda, allo scopo di migliorare le prestazioni e la scalabilità. Ciascuna partizione di un *topic* viene memorizzata in diversi nodi del *cluster*; la numerosità delle partizioni può essere configurata a seconda delle necessità. Redpanda garantisce l'ordine degli eventi all'interno della stessa partizione, tuttavia di *default* non è garantito l'ordine tra partizioni diverse. Il partizionamento consente di elaborare i dati in parallelo, infatti i consumatori possono leggere da più partizioni contemporaneamente, distribuendo il carico computazionale e migliorando il *throughput*. Ogni messaggio pubblicato è detto *record* e ha una chiave, che può essere utilizzata per determinare la partizione a cui il messaggio verrà assegnato, ed un valore, che costituisce il vero e proprio *payload*; eventi con la stessa chiave vengono inviati alla stessa partizione.

Nel caso del nostro progetto, abbiamo deciso di utilizzare come chiave il `sensor_uuid`, un identificativo univoco globale per ciascun sensore, affinché i dati siano inviati alla stessa partizione e conseguentemente elaborati nell'ordine in cui sono stati prodotti.

3.4.3 Redpanda *schema registry*

Lo *schema registry* offre un archivio centralizzato per gestire e convalidare gli schemi associati ai messaggi Kafka, facilitandone la serializzazione e deserializzazione. I produttori e consumatori dei *topic* Kafka possono utilizzare questi schemi per garantire coerenza e compatibilità dei dati durante la loro evoluzione nel tempo.



3.4.3.1 *Compatibility mode*

Le modalità di compatibilità di uno schema sono delle regole che determinano come i cambiamenti ad uno schema influiscono sulla capacità dei dati serializzati con versioni precedenti di essere letti da versioni successive e viceversa; sono essenziali per garantire che i dati rimangano compatibili durante l'evoluzione degli schemi. Di seguito sono descritte le principali modalità di compatibilità supportate dallo *schema registry* di Redpanda:

- **BACKWARD**: i consumatori che utilizzano lo schema più recente possono leggere i dati prodotti con lo schema precedente;
- **BACKWARD_TRANSITIVE**: i consumatori che utilizzano lo schema più recente possono leggere i dati prodotti con tutti gli schemi precedenti;
- **FORWARD**: i consumatori che utilizzano lo schema precedente possono leggere i dati prodotti con lo schema più recente;
- **FORWARD_TRANSITIVE**: i consumatori che utilizzano uno qualsiasi degli schemi precedenti possono leggere i dati prodotti con lo schema più recente;
- **FULL**: i dati prodotti con lo schema più recente possono essere letti da consumatori che utilizzano lo schema precedente e viceversa;
- **FULL_TRANSITIVE**: i dati prodotti con uno qualsiasi degli schemi possono essere letti da consumatori che utilizzano qualsiasi altro schema;
- **NONE**: nessun controllo di compatibilità viene effettuato.

Nel progetto proposto da *SyncLab S.r.L.* l'obiettivo principale è l'elaborazione dei dati in tempo reale piuttosto che di quelli storici, pertanto è importante che i consumatori possano sempre ricevere i messaggi più recenti, anche se prodotti con un nuovo schema. Pertanto questo tipo di applicazioni beneficiano della modalità **FORWARD**, ovvero quella che abbiamo scelto di utilizzare.

3.4.3.2 **Serializzazione dei dati**

3.4.3.2.1 **Chiavi**

Come menzionato in precedenza, si utilizza il `sensor_uuid` per popolare il campo chiave dei *record*; tale identificativo viene, prima di essere pubblicato nel *topic*, convertito a stringa e codificato in UTF-8.



3.4.3.2.2 Valori

Il formato Avro consente di definire attraverso JSON uno schema che descriva la struttura dei dati, permettendo di serializzare e deserializzarli in modo affidabile; la serializzazione tramite Avro produce dati binari compatti, che consentono di ridurre l'*overhead* di rete e migliorare le prestazioni di trasmissione dei dati. Solamente i dati che rispettano lo schema definito possono essere inviati nel *topic*, garantendo la coerenza dei dati e facilitando la gestione delle evoluzioni dello schema.

Per la serializzazione dei valori abbiamo stabilito di utilizzare il formato Confluent Avro; la principale differenza rispetto al formato Avro standard è l'inclusione di un *magic byte* e dell'ID dello schema all'inizio del messaggio, seguiti dal *payload* vero e proprio. Ciò consente di evitare di includere lo schema all'interno di ogni messaggio, riducendo la dimensione dei dati trasmessi.

Il produttore consulta lo *schema registry* per ottenere l'ID corretto da utilizzare quando invia un messaggio, mentre il consumatore lo utilizza per ottenere lo schema con cui deserializzare il messaggio.

3.4.3.3 Formato dei messaggi

3.4.3.3.1 Dati grezzi prodotti dai simulatori

Per ciascun *topic* è stato definito uno schema Avro che descrive la struttura dei dati grezzi generati dai simulatori. Rispetto all'utilizzo di uno schema comune per tutti i *topic*, questa scelta consente di:

- rendere **indipendenti** i vari tipi di messaggi. Se una tipologia sensore dovesse cambiare il formato dei dati, sarebbe sufficiente modificare lo schema relativo al *topic* corrispondente;
- non dover stabilire a priori il **numero di misurazioni** che un sensore può effettuare. Se si utilizzasse uno schema comune, sarebbe necessario prevedere un numero massimo di campi, anche se non tutti i sensori potrebbero utilizzarli;
- far conoscere al consumatore il **tipo esatto** del dato che riceverà, senza dover utilizzare un campo di tipo *union*. Le misurazioni effettuate dai sensori possono essere numeri interi, decimali, stringhe o booleani;



I sensori inviano, oltre alle misurazioni relative alla propria tipologia, i campi contenuti nella seguente tabella:

Campo	Tipo	Descrizione
sensor_uuid	string	Identificativo univoco del sensore.
sensor_name	string	Nome del sensore.
latitude	double	Latitudine del sensore.
longitude	double	Longitudine del sensore.
timestamp	string	Data e ora della misurazione in formato ISO 8601.
group_name	string	Nome (opzionale) del gruppo di sensori a cui appartiene.

Un esempio di schema Avro per il tipo di dato Temperature è il seguente:

```
{
  "type": "record",
  "name": "Temperature",
  "fields": [
    { "name": "sensor_uuid", "type": "string" },
    { "name": "sensor_name", "type": "string" },
    { "name": "latitude", "type": "double" },
    { "name": "longitude", "type": "double" },
    { "name": "timestamp", "type": "string" },
    { "name": "value", "type": "float" },
    { "name": "group_name", "type": [ "string", "null" ] }
  ]
}
```

Listing 1: Esempio di schema Avro per il tipo di dato Temperature

3.4.3.3.2 Dati elaborati da Apache Flink

Per quanto riguarda invece i dati aggregati da Apache Flink, è stato definito uno schema Avro per ciascuno di essi, il quale viene pubblicato in un *topic* dedicato. Lo schema Avro per il tipo di dato HeatIndex è il seguente:

```
{
  "type": "record",
  "name": "Heat_Index",
```



```
"fields": [  
  {"name": "sensor_names", "type": {"type": "array", "items": "string"}},  
  {"name": "group_name", "type": "string"},  
  {"name": "heat_index", "type": "float"},  
  {"name": "avg_temperature", "type": "float"},  
  {"name": "avg_humidity", "type": "float"},  
  {"name": "center_of_mass_latitude", "type": "float"},  
  {"name": "center_of_mass_longitude", "type": "float"},  
  {"name": "radius_in_km", "type": "float"},  
  {"name": "timestamp", "type": "string"}  
]  
}
```

Listing 2: Schema Avro per il tipo di dato HeatIndex

```
{  
  "type": "record",  
  "name": "Charging_Efficiency",  
  "fields": [  
    { "name": "sensor_uuid", "type": "string" },  
    { "name": "utilization_rate", "type": "double" },  
    { "name": "efficiency_rate", "type": "double" },  
    { "name": "timestamp", "type": "string" },  
    { "name": "group_name", "type": "string" },  
    { "name": "sensor_names", "type": { "type": "array", "items": "string" } }  
  ]  
}
```

Listing 3: Schema Avro per il tipo di dato ChargingEfficiency

3.4.3.4 Altre configurazioni

- **Numero di partizioni:** il numero di partizioni di un *topic* è stato configurato con *default* a 3;
- *Subject name strategy*, ovvero la strategia per la generazione del nome dello schema all'interno dello *schema registry*, è stata impostata a *TopicNameStrategy*,



che prevede che il nome dello schema sia composto dal nome del *topic* seguito da *-value* per i valori e *-key* per le chiavi.

3.4.4 Inizializzazione e configurazione

Apache Flink necessita che i *topic* da cui consuma, ovvero temperatura, umidità, colonnine di ricarica e parcheggi, e quelli in cui pubblica, ovvero *heat_index* e *charging_efficiency*, siano creati precedentemente all'esecuzione del *job*, con i rispettivi schemi. A tale scopo, è stata realizzata un'immagine Docker basata su Alpine Linux [Ultima consultazione 2024-07-18], al cui interno viene scaricato il binario *rpk* [Ultima consultazione 2024-07-18], strumento messo a disposizione da Redpanda per interagire e configurare un *cluster* Redpanda, anche remoto. Al suo interno inoltre è presente uno *script* Bash che dato il nome di un *topic* lo crea se non esiste e ne registra lo schema all'interno dello *schema registry*.

3.4.5 Redpanda Connect

Redpanda Connect è una piattaforma integrata nel sistema Redpanda, progettata per facilitare l'integrazione e il trasferimento dei dati tra Redpanda e altre fonti o destinazioni. Esso consente di gestire dei connettori, componenti *software* che si occupano automatizzare lo spostamento dei dati da e verso Redpanda. Tali connettori si dividono in due categorie:

- **source connector**: si occupano di trasferire i dati da una sorgente esterna a Redpanda;
- **sink connector**: si occupano di trasferire i dati da Redpanda a una destinazione esterna.

3.4.5.1 Sink connector per ClickHouse

All'interno del progetto abbiamo utilizzato Redpanda Connect per persistere su ClickHouse i dati provenienti dai sensori pubblicati nei differenti *topic*. Per poter effettuare questa operazione è stato necessario utilizzare un *sink connector*, che si occupasse di deserializzare i messaggi in formato Confluent Avro, effettuare il *parsing* dei campi di tipo *DateTime* (pubblicati come stringhe in formato ISO 8601) ed infine salvare i dati in ClickHouse. La documentazione relativa è consultabile al seguente url [Ultima consultazione 2024-07-10].

La configurazione di tale connettore è disponibile all'interno del *repository* del progetto al percorso `redpanda/connectors/configs/clickhouse.json`. Al fine di effettuare il *parsing*



delle date è stato necessario definire all'interno di tale file un *transformer*, il quale si occupa di leggere il campo `timestamp` e convertirlo in `DateTime`, tipo riconosciuto da ClickHouse.

La versione utilizzata è la 1.1.1, scaricabile dal seguente [url](#) [Ultima consultazione 2024-07-10].

La configurazione del *transformer* è la seguente:

```
{
  //...
  "transforms": "TimestampConverter",
  "transforms.TimestampConverter.type": "org.apache.kafka.connect.transforms.
    TimestampConverter$Value",
  "transforms.TimestampConverter.format": "yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss",
  "transforms.TimestampConverter.field": "timestamp",
  "transforms.TimestampConverter.target.type": "Timestamp"
  //...
}
```

Listing 4: Configurazione del *transformer* all'interno del file `clickhouse.json`

La creazione del connettore viene effettuata eseguendo il seguente comando nella radice del progetto:

```
curl "localhost:8083/connectors" -H 'Content-Type: application/json' \
  -d @./redpanda/connectors/configs/clickhouse.json
```

3.4.5.2 Avro converter

È stato inoltre necessario utilizzare un ulteriore *plugin*, *avro-converter* (versione 7.6.1), scaricabile dal seguente [url](#) [Ultima consultazione 2024-07-10], il quale consente di effettuare la deserializzazione dei messaggi in formato Confluent Avro.

Il *connector sink* è stato configurato per utilizzarlo come segue:

```
{
  //...
  "value.converter": "io.confluent.connect.avro.AvroConverter",
  "value.converter.schemas.enable": "true",
  "value.converter.schema.registry.url": "http://redpanda:8081",
  //...
```




```
}
```

Listing 5: Utilizzo del *plugin* `avro-converter` all'interno del file `clickhouse.json`

3.4.6 Redpanda Console

Redpanda Console è un'applicazione web che consente di gestire e effettuare *debug* di un'istanza Redpanda. Essa ha diverse funzionalità, tra cui:

- **visualizzazione dei messaggi:** consente di esplorare i messaggi dei *topic* attraverso *query* ad-hoc e filtri dinamici, scritti con semplici funzioni JavaScript;
- **gruppi di consumatori:** permette di visualizzare tutti i gruppi di consumatori attivi, insieme ai relativi offset, modificarli o eliminarli;
- **panoramica dei topic:** permette di visualizzare la lista dei *topic*, controllarne la configurazione, lo spazio utilizzato, la lista dei consumatori e i dettagli delle partizioni;
- **panoramica del cluster:** permette di visualizzare le ACL, i *broker* disponibili, il loro spazio utilizzato, l'ID del rack e altre informazioni per ottenere una panoramica del *cluster*;
- **schema registry:** permette di visualizzare tutti gli schemi Avro, Protobuf o JSON all'interno del registro degli schemi;
- **Kafka Connect:** permette di gestire i connettori da più *cluster* di connessione, modificare le configurazioni, visualizzare lo stato corrente o riavviare i task.

3.5 Apache Flink - *Processing layer*

Nel contesto di Apache Flink, un *job* è un'applicazione che definisce una serie di operazioni di trasformazione su un flusso di dati. Essi possono essere eseguiti su *cluster* distribuiti per sfruttare la scalabilità e la potenza di calcolo necessaria per elaborare grandi quantità di dati in tempo reale. Tipicamente, un *job* consiste di tre componenti principali:

- **sorgente di dati (*source*):** il punto di ingresso del flusso di dati, ad esempio un *topic* Kafka o un file di log;
- **transformations:** operazioni come map, filter, aggregate, join, che trasformano i dati in ingresso;



- **sink**: il punto di uscita dove i dati elaborati vengono scritti, ad esempio un database o un altro *topic* Kafka.

Flink offre due API per la definizione dei *job*: *DataStream API* e *Table API*. Il primo consente di lavorare con *stream* di dati, avendo un controllo più fine sul flusso di dati, mentre il secondo permette di lavorare con tabelle, offrendo una sintassi più simile a SQL.

Per questo progetto abbiamo utilizzato le *DataStream API* per la realizzazione di due *job* indipendenti tra loro, che tuttavia condividono alcune classi di utilità.

3.5.1 Watermark

TODO

3.5.1.1 Heat Index

A partire dai dati rilevati dai sensori di temperatura e umidità relativa lo *Heat Index* consente di stimare la percezione della temperatura da parte dell'essere umano. Nella configurazione di ciascun simulatore, oltre a posizione e identificativo dello stesso, è possibile specificare un `group_name`, ovvero una stringa che identifica il gruppo o zona di appartenenza; si suppone che sensori situati in posizioni geografiche vicine abbiano lo stesso `group_name`. Il *job* calcola prima separatamente la temperatura e l'umidità media per finestre di un'ora, aggregando i dati provenienti da sensori dello stesso gruppo. Successivamente con i valori ottenuti computa lo *Heat Index*, utilizzando la formula empirica ideata da Blazejczyk [Ultima consultazione 2024-06-25]. Nel risultato finale, oltre al valore dello *Heat Index*, vengono restituiti anche i valori di temperatura e umidità medi, il centro di massa del gruppo di sensori (utilizzando la formula Haversine [Ultima consultazione 2024-06-25] per il calcolo della distanza) e la distanza dal centro di massa al sensore più lontano. Questi ultimi due dati sono impiegati in una mappa interattiva su Grafana per poter disegnare un cerchio, rappresentante la zona di influenza del gruppo di sensori.

3.5.1.1.1 Modello di calcolo

3.5.1.1.1.1 Heat Index

Lo *Heat Index* viene calcolato con la seguente formula, dove T è la temperatura in gradi Celsius, R l'umidità relativa in percentuale:

$$HI = c_1 + c_2T + c_3R + c_4TR + c_5T^2 + c_6R^2 + c_7T^2R + c_8TR^2 + c_9T^2R^2$$



e i coefficienti c_i sono:

$$\begin{aligned} c_1 &= -8.78469475556 & c_2 &= 1.61139411 & c_3 &= 2.33854883889 \\ c_4 &= -0.14611605 & c_5 &= -0.012308094 & c_6 &= -0.0164248277778 \\ c_7 &= 2.211732 \times 10^{-3} & c_8 &= 7.2546 \times 10^{-4} & c_9 &= -3.582 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

3.5.1.1.2 Centro di massa o centroide

Il calcolo del centro di massa tiene in considerazione la sfericità della Terra. Sia dato un insieme di punti $P = \{(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n)\}$, dove a_i rappresenta la latitudine del punto i -esimo e b_i la longitudine. Per calcolare il centro di massa si procede, per ciascun punto, a convertire in radianti le coordinate:

$$lat_i = \frac{\pi}{180} \cdot a_i, \quad lon_i = \frac{\pi}{180} \cdot b_i$$

Successivamente si calcolano i coefficienti x_i, y_i e z_i :

$$x_i = \cos(lat_i) \cdot \cos(lon_i), \quad y_i = \cos(lat_i) \cdot \sin(lon_i), \quad z_i = \sin(lat_i)$$

Una volta ottenuti i coefficienti per tutti i punti, si calcola la media di tutti i coefficienti:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$$

Infine si calcolano lat (latitudine in radianti), lon (longitudine in radianti) e hyp (ipotenusa nel piano cartesiano, che rappresenta la distanza dall'origine alla proiezione del punto sul piano lat_i, lon_i):

$$\begin{aligned} lon &= \text{atan2}(y, x) \\ hyp &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ lat &= \text{atan2}(z, hyp) \end{aligned}$$

Una volta ottenuti lat e lon , si convertono in gradi e si ottiene il centro di massa $CM = (c_a, c_b)$.

$$c_a = \frac{180}{\pi} \cdot lat, \quad c_b = \frac{180}{\pi} \cdot lon$$

3.5.1.1.3 Raggio del cerchio

Il raggio del cerchio viene calcolato come la distanza dal centro di massa al punto più lontano. Sia $P = \{(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n)\}$ l'insieme di punti, $CM = (c_a, c_b)$, il raggio r è dato da:

$$r = \max_{i=1}^n \text{haversine}(c_a, c_b, a_i, b_i)$$

3.5.1.1.2 Flusso di dati

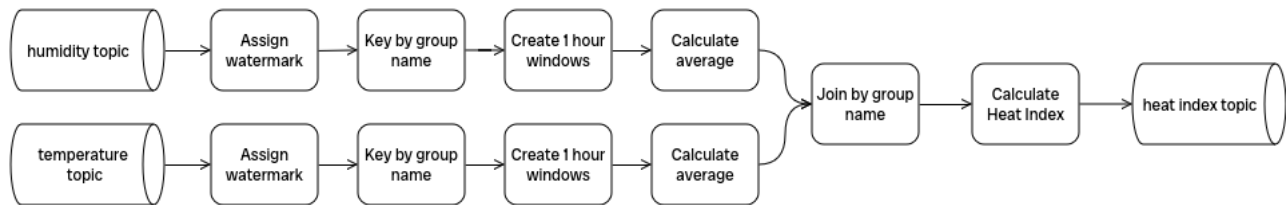


Figura 8: Flusso di dati del *job Heat Index*

I seguenti passaggi vengono eseguiti indipendentemente ed in parallelo per i dati provenienti dai *topic* di temperatura ed umidità:

1. lettura dei dati grezzi dai *topic* relativi alla temperatura e all'umidità, attraverso la classe `KafkaSource`;
2. assegnazione di un *watermark* ai dati, come precedentemente descritto nel paragrafo [*Watermark*](#);
3. raggruppamento di dati utilizzando come chiave il `group_name`, tramite la funzione `keyBy` fornita da Flink;
4. creazione di una finestra temporale di un'ora, utilizzando la funzione `window` di Flink;
5. calcolo della media della temperatura e dell'umidità, utilizzando la classe `AverageWindowFunction`;

Successivamente, attraverso l'utilizzo dell'operatore `join` si uniscono i due *stream* di dati, calcolando attraverso la classe `HeatIndexJoinFunction` il valore dello *Heat Index*, la latitudine e longitudine del centro di massa e il raggio del cerchio. Infine, i dati vengono pubblicati nel *topic* dedicato allo *Heat Index*.

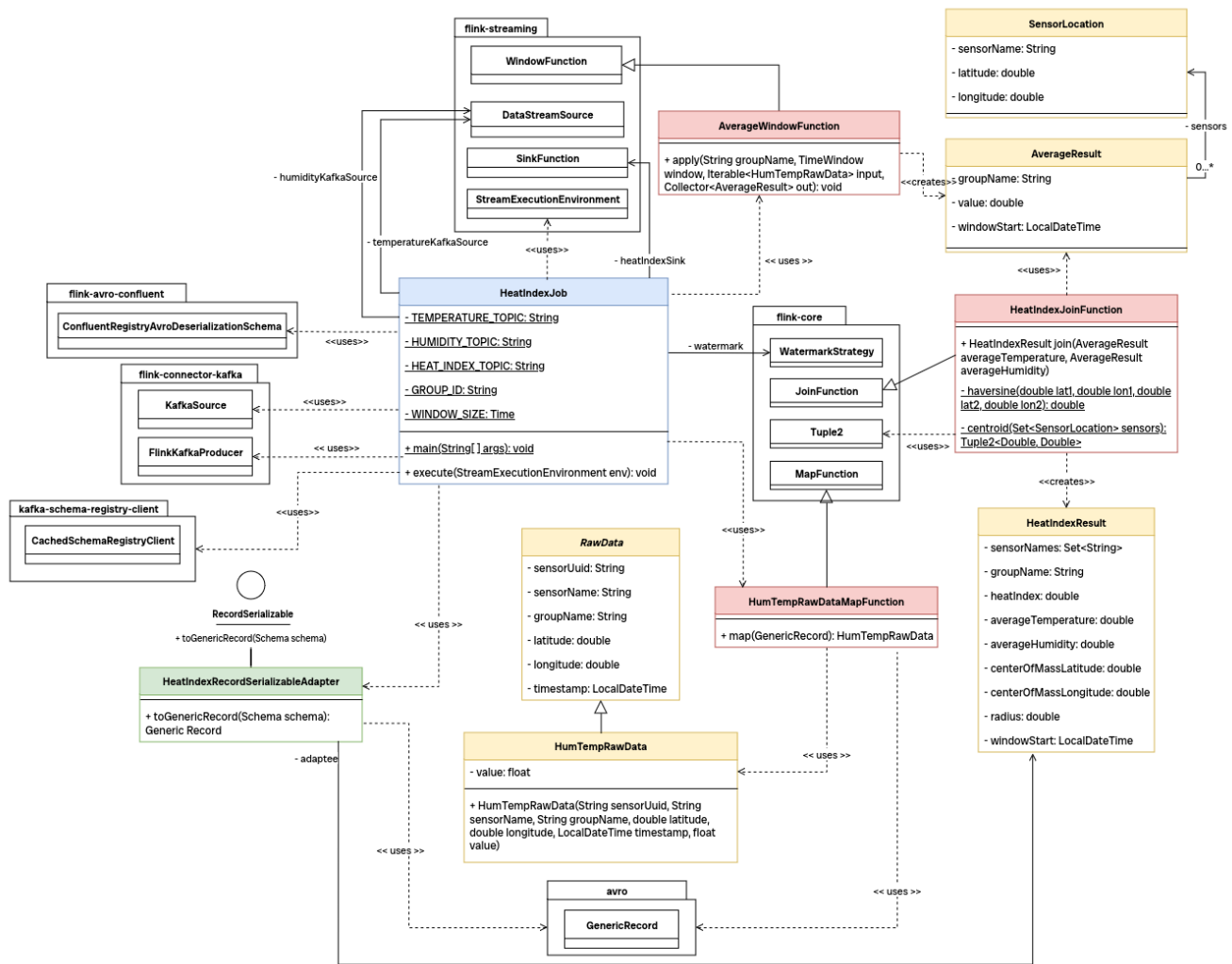
3.5.1.1.3 Architettura

Al fine di realizzare un *job*, è necessario implementare una classe dotata di un metodo `main` che si occupi di inizializzare l'ambiente di esecuzione, definire sorgente e *sink* dei dati e infine di far partire il *job* vero e proprio. La classe che svolge tale ruolo per il *job Heat Index* è `HeatIndexJob`, che definisce come sorgente di dati i *topic* relativi alla temperatura e all'umidità, leggendo le variabili d'ambiente relative all'indirizzo del *bootstrap server* e *schema registry*, applica le trasformazioni illustrate nel paragrafo



precedente ed infine pubblica i risultati nel *topic* dedicato allo *Heat Index*. In tale classe viene definito un metodo *execute*, il quale applica le trasformazioni a partire dai *source* definiti nel metodo *main*. Separare la logica di esecuzione del *job* dalla sua definizione consente di rendere il codice più modulare e rende possibile la realizzazione di test di integrazione sull'esecuzione dell'intero *job*, fornendo una versione *mock* di *source* e *sink* di dati.

Come illustrato nel diagramma seguente, per ciascuna fase di elaborazione dei dati viene definita una classe che estende la funzione appropriata per il tipo di operazione che si vuole effettuare. Per i casi più semplici sarebbe possibile utilizzare direttamente delle classi anonime o funzioni *lambda*, tuttavia definendo classi separate per ciascuna trasformazione consente di sottoporre ciascuna di esse a test di unità e riutilizzarle se necessario; la funzione *AverageWindowFunction* viene ad esempio utilizzata sia per calcolare la media della temperatura che dell'umidità.

Figura 9: Architettura del job *Heat Index*

3.5.1.1.3.1 Object adapter

Data la necessità di convertire la classe *HeatIndexResult*, prodotto delle aggregazioni, in un oggetto di tipo *GenericRecord* (contenuto nella libreria *avro*), abbiamo implementato il *pattern object adapter*, che si occupa di effettuare tale conversione.

A tale scopo, è stata definita un'interfaccia *RecordSerializable* che espone il metodo *toGenericRecord*, il quale restituisce un oggetto di tipo *GenericRecord*.

HeatIndexRecordSerializableAdapter implementa tale interfaccia e ha un campo *adaptee* di tipo *HeatIndexResult*. Prima di effettuare dunque il *sink* dei dati, viene invocato il metodo *toGenericRecord* per ottenere il *record* da pubblicare nel *topic* dedicato allo



Heat Index.

3.5.1.1.3.2 Classi, interfacce metodi e attributi

- **Classe HeatIndexJob**

- **Attributi**

- * TEMPERATURE_TOPIC str [private,final,static]: nome del *topic* relativo alla temperatura;
 - * HUMIDITY_TOPIC str [private,final,static]: nome del *topic* relativo all'umidità;
 - * HEAT_INDEX_TOPIC str [private,final,static]: nome del *topic* relativo allo *Heat Index*;
 - * GROUP_ID str [private,final,static]: identificativo del gruppo di consumatori;
 - * WINDOW_SIZE int [private,final,static]: dimensione della finestra temporale per cui calcolare le aggregazioni.

- **Metodi**

- * main(String[] args) [public,static]: metodo principale che si occupa di inizializzare l'ambiente di esecuzione, definire sorgente e *sink* dei dati ed eseguire il *job* vero e proprio;
 - * execute(StreamExecutionEnvironment env) [public]: metodo che applica le trasformazioni a partire dai *source* definiti nel metodo *main*.

- **Classe AverageWindowFunction**

- **Metodi**

- * apply(String groupName, TimeWindow window, Iterable<HumTempRawData> input, Collector<AverageResult> out) void [public]: metodo che calcola la media delle misurazioni di temperatura e umidità per una certa finestra temporale.

- **Classe HeatIndexJoinFunction**

- **Metodi**

- * join(AverageResult averageTemperature, AverageResult averageHumidity) HeatIndexResult [public]: metodo che calcola lo *Heat Index*, il centro di massa e il raggio del cerchio a partire dai valori di temperatura e umidità medi e i sensori che li hanno prodotti.

- **Classe HumTempRawDataMapFunction**



– Metodi

- * `map(GenericRecord record) HumTempRawData [public]`: metodo che converte un `GenericRecord` in un oggetto di tipo `HumTempRawData`.

• Interfaccia `RecordSerializable`

– Metodi

- * `toGenericRecord() GenericRecord [public]`: metodo che restituisce un oggetto di tipo `GenericRecord`.

• Classe `HeatIndexRecordSerializableAdapter`

– Attributi

- * `adaptee HeatIndexResult [private, final]`: oggetto da adattare.

– Metodi

- * `toGenericRecord() GenericRecord [public]`: metodo che restituisce un oggetto di tipo `GenericRecord` a partire da `adaptee`.

• Classe `AverageResult`

– Attributi

- * `groupName String [private]`: nome del gruppo di sensori che ha prodotto la misurazione;
- * `sensors Set <String> [private]`: insieme degli identificativi dei sensori che hanno prodotto la misurazione;
- * `value double [private]`: valore medio di tutte le misurazioni considerate;
- * `windowStart LocalDateTime [private]`: data e ora di inizio della finestra temporale in cui è stata calcolata la media.

• Classe `SensorLocation`

– Attributi

- * `sensorName String [private]`: nome del sensore;
- * `latitude double [private]`: latitudine del sensore;
- * `longitude double [private]`: longitudine del sensore.

• Classe `HeatIndexResult`



– Attributi

- * `sensors` Set <String> [private]: insieme degli identificativi dei sensori che hanno prodotto le misurazioni;
- * `groupName` String [private]: nome del gruppo di sensori che ha prodotto la misurazione;
- * `heatIndex` double [private]: valore dello *Heat Index*;
- * `averageTemperature` double [private]: valore medio della temperatura;
- * `averageHumidity` double [private]: valore medio dell'umidità;
- * `centerOfMassLatitude` double [private]: latitudine del centro di massa;
- * `centerOfMassLongitude` double [private]: longitudine del centro di massa;
- * `radius` double [private]: raggio del cerchio;
- * `windowStart` LocalDateTime [private]: data e ora di inizio della finestra temporale in cui è stato calcolato lo *Heat Index*.

• Classe astratta `RawData`

– Attributi

- * `sensorUuid` String [protected]: identificativo univoco del sensore;
- * `sensorName` String [protected]: nome del sensore;
- * `groupName` String [protected]: nome del gruppo di sensori a cui appartiene;
- * `latitude` double [protected]: latitudine del sensore;
- * `longitude` double [protected]: longitudine del sensore;
- * `timestamp` LocalDateTime [protected]: data e ora della misurazione.

• Classe `HumTempRawData`

– Attributi

- * `value` double [private]: valore della misurazione.

3.5.1.1.4 *Deployment*

Per poter effettuare il *deployment* dei due *job* sviluppati è stato necessario creare un *fat jar* contenente tutte le dipendenze necessarie per l'esecuzione. Tale operazione è stata effettuata utilizzando il *plugin Maven* `maven-assembly-plugin`, con la seguente configurazione:



```
<plugin>
  <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
  <artifactId>maven-assembly-plugin</artifactId>
  <version>3.7.1</version>
  <configuration>
    <descriptorRefs>
      <descriptorRef>jar-with-dependencies</descriptorRef>
    </descriptorRefs>
  </configuration>
  <executions>
    <execution>
      <id>assemble-all</id>
      <phase>package</phase>
      <goals>
        <goal>single</goal>
      </goals>
    </execution>
  </executions>
</plugin>
```

Listing 6: Configurazione del *plugin* *maven-assembly-plugin* per la creazione del *fat jar*

Al fine di poter caricare ed eseguire i *job* all'interno di un *cluster* Flink, è necessario effettuare una chiamata `POST` all'*endpoint* `/jars/upload` esposto dal *job manager* di Flink. A tale scopo, è stata realizzata un'immagine Docker chiamata *deployer* con all'interno uno *script* Python che si occupa di effettuare tale operazione. Essendo lo *script* parametrico, è sufficiente ridefinire `command` all'interno del `docker-compose.yml`, montando la cartella contenente il *fat jar* all'interno del *container* e passando come argomento il percorso del file e le *entry class* dei due *job*.

3.5.1.2 Charging Efficiency (efficienza delle colonnine elettriche)

A partire dai dati rilevati dai sensori di occupazione dei parcheggi e delle colonnine elettriche, questo *job* calcola giornalmente per ciascun sensore i seguenti valori:

- `utilization_rate`: percentuale di tempo in cui le colonnine sono utilizzate rispetto al tempo totale considerato;

- *efficiency_rate*: percentuale di tempo in cui le colonnine sono utilizzate rispetto al tempo totale in cui il parcheggio è occupato.

3.5.1.2.1 Modello di calcolo

Siano dati P e C , due insiemi di misurazioni rispettivamente di parcheggi e colonnine elettriche, tali che:

- $P = \{(tp_1, o_1), (tp_2, o_2) \dots (tp_n, o_n)\}$, dove:
 - tp_i è il *timestamp* della misurazione;
 - $tp_i < tp_{i+1} \forall i \in \{1 \dots n\}$, ovvero le misurazioni sono ordinate cronologicamente;
 - o_i è un intero pari a 1 se il parcheggio è occupato, 0 altrimenti.
- $C = \{(tc_1, k_1), (tc_2, k_2) \dots (tc_m, k_m)\}$, dove:
 - tc_i è il *timestamp* della misurazione;
 - $tc_i < tc_{i+1} \forall i \in \{1 \dots m\}$, ovvero le misurazioni sono ordinate cronologicamente;
 - k_i è il numero di *kwh* erogati dalla colonnina elettrica al momento della misurazione.

3.5.1.2.1.1 Utilization rate

L' *utilization rate* è calcolato come la percentuale di tempo in cui le colonnine sono utilizzate rispetto al tempo totale considerato. Sia $T = tp_m - tp_1$ il tempo totale considerato. Il tempo in cui le colonnine sono utilizzate è dato dalla somma delle differenze tra due misurazioni consecutive in cui $k_i > 0$, ovvero

$$S = \sum_{i=1}^{m-1} (tc_{i+1} - tc_i) \cdot 1_{k_i > 0}$$

Il *utilization rate* è dunque ottenuto nel seguente modo:

$$utilization\ rate = \frac{S}{T} \cdot 100$$

3.5.1.2.1.2 Efficiency rate

L' *efficiency rate* è calcolato come la percentuale di tempo in cui le colonnine sono utilizzate rispetto al tempo totale in cui il parcheggio è occupato. Il tempo totale in

cui il parcheggio è occupato è dato dalla somma delle differenze tra due misurazioni consecutive in cui $o_i > 0$, ovvero:

$$O = \sum_{i=1}^{n-1} (tp_{i+1} - tp_i) \cdot 1_{o_i > 0}$$

Si utilizza quindi S calcolato nel paragrafo precedente per ottenere l' *efficiency rate*:

$$efficiency\ rate = \frac{S}{O} \cdot 100$$

3.5.1.2.2 Flusso di dati

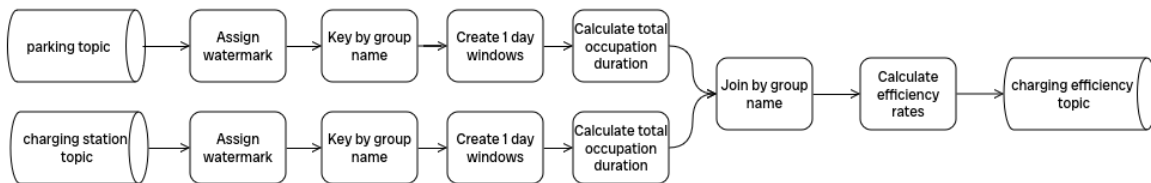


Figura 10: Flusso di dati del *job Charging Efficiency*

Le seguenti operazioni vengono eseguite indipendentemente per i dati provenienti dai *topic* relativi ai parcheggi e alle colonnine elettriche:

1. lettura dei dati grezzi dai *topic* relativi ai parcheggi e alle colonnine elettriche, attraverso la classe `KafkaSource`;
2. assegnazione di un *watermark* ai dati, come precedentemente descritto nel paragrafo Watermark;
3. raggruppamento di dati utilizzando come chiave il `group_name`, tramite la funzione `keyBy` fornita da Flink;
4. creazione di una finestra temporale di un giorno, utilizzando la funzione `window` di Flink;
5. calcolo del tempo totale in cui le colonnine sono in uso e del tempo totale in cui i parcheggi sono occupati, utilizzando rispettivamente le classi `ChargingStationTimeDifferenceWindowFunction` e `ParkingTimeDifferenceWindowFunction`.

Successivamente, attraverso l'utilizzo dell'operatore `join` si uniscono i due *stream* di dati, calcolando attraverso la classe `ChargingEfficiencyJoinFunction` il valore dell'*utilization rate* e dell'*efficiency rate*. Infine, i risultati vengono pubblicati nel *topic* dedicato all'efficienza delle colonnine elettriche.



3.5.1.2.3 Architettura

Analogamente a quanto svolto per il *job Heat Index*, anche per il *job Charging Efficiency* è stata definita la classe *ChargingEfficiencyJob*, la quale funge da punto di ingresso per l'esecuzione del *job*. Essa definisce come sorgente di dati i *topic* relativi all'occupazione dei parcheggi e delle colonnine elettriche, prepara l'esecuzione del *job* e infine lo avvia attraverso il metodo *execute*.

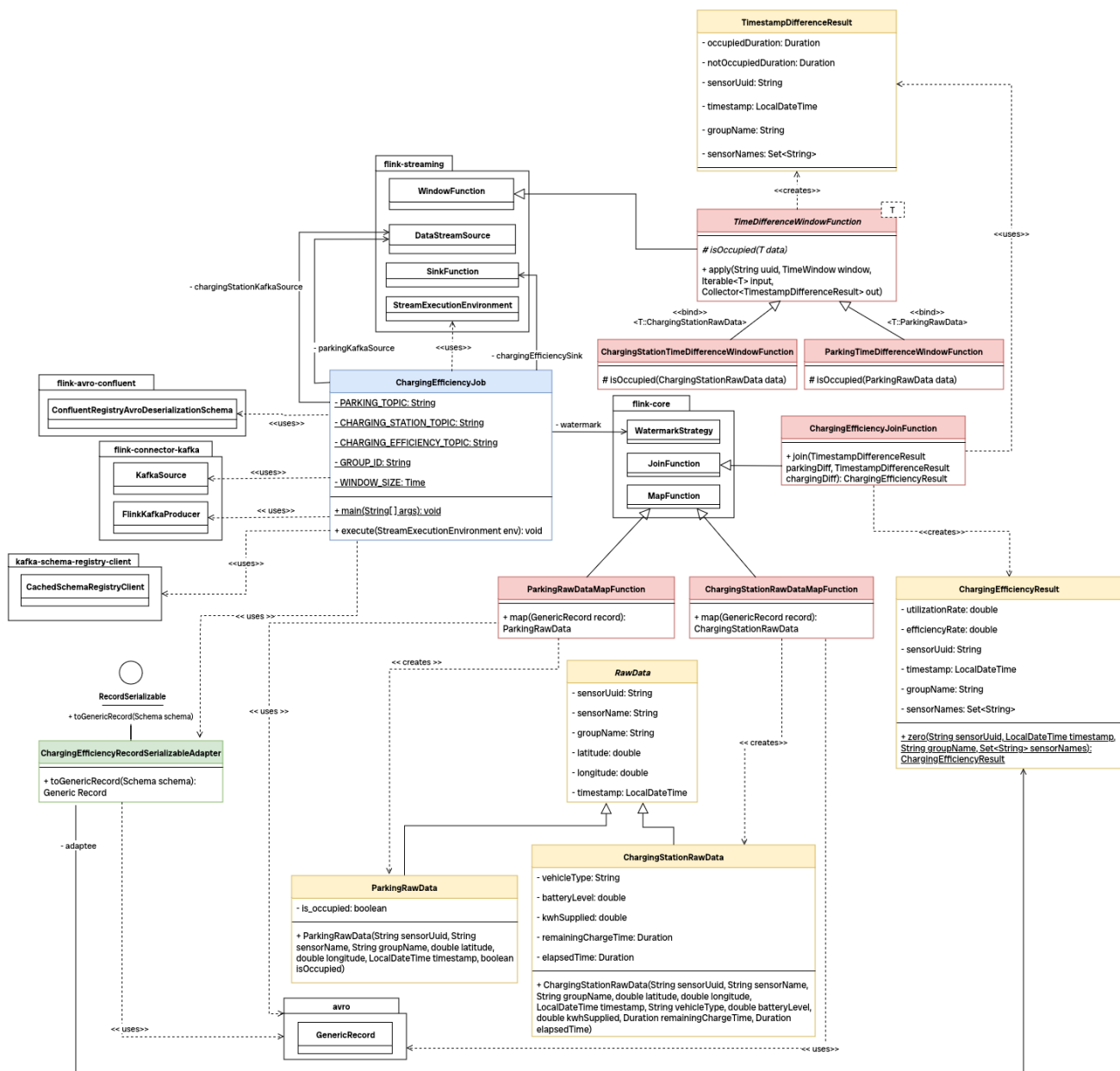


Figura 11: Architettura del *job Charging Efficiency*

3.5.1.2.3.1 *Object adapter*

La classe `ChargingEfficiencyResult` è stata adattata in un oggetto di tipo `GenericRecord` attraverso la classe `ChargingEfficiencyRecordSerializableAdapter`, analogamente a quanto descritto nella sezione 3.5.1.1.3.1.

3.5.1.2.3.2 *Template method*

Per poter ottenere il tempo totale in cui le colonnine e i parcheggi sono in uso in un certo periodo di tempo è necessario utilizzare una `WindowFunction`, funzione di Flink che si occupa di calcolare una determinata aggregazione in una finestra temporale. In questo caso, si occupa di calcolare la somma delle differenze tra due misurazioni consecutive in cui i kwh erogati dalle colonnine sono maggiori di 0 o i parcheggi sono occupati. Risulta quindi evidente che le due funzioni di aggregazione sono molto simili tra loro, differendo solo per il campo utilizzato per determinare se la misurazione è relativa ad un momento in cui le colonnine sono in uso o i parcheggi sono occupati. Per evitare di duplicare il codice, abbiamo deciso di utilizzare il *pattern template method*, definendo una classe astratta `TimeDifferenceWindowFunction` che implementa l'interfaccia `WindowFunction` e utilizza un *generic type* `T extends RawData` per rappresentare il tipo di dato su cui effettuare l'aggregazione. `TimeDifferenceWindowFunction` definisce un metodo astratto `isOccupied(T data)` che restituisce `true` se il dato passato come argomento è relativo ad una misurazione in cui l'entità è in uso, `false` altrimenti. Inoltre, siccome implementa `WindowFunction`, deve ridefinire il metodo `apply`. Riassumendo:

- `isOccupied` è un metodo astratto e nel contesto del *pattern template method* è un metodo primitivo;
- `apply` è un metodo concreto e `final` e costituisce il *template method*;
- non sono presenti *hook*, ovvero metodi che possono opzionalmente essere sovrascritti dalle sottoclassi, definiti con implementazione di *default* nella superclasse.

3.5.1.2.3.3 *Classi, interfacce metodi e attributi*

- **Classe astratta `RawData`:** precedentemente descritta nella sezione relativa al *job Heat Index*



- **Classe ParkingRawData**

- **Attributi**

- * `is_occupied` boolean [private]: valore che indica se il parcheggio è occupato o meno. [wid

- **Classe ChargingStationRawData**

- **Attributi**

- * `vehicleType` String [private]: tipo di veicolo che la colonnina ricarica;
 - * `batteryLevel` double [private]: livello di batteria del veicolo collegato alla colonnina;
 - * `kwhSupplied` double [private]: kilowatt ora che la colonnina sta erogando al momento della misurazione;
 - * `remainingChargeTime` Duration [private]: tempo di ricarica rimanente;
 - * `elapsedTime` Duration [private]: tempo di ricarica rimanente;

- **Classe ChargingEfficiencyJob**

- **Attributi**

- * `PARKING_TOPIC` str [private,final,static]: nome del *topic* relativo all'occupazione dei parcheggi;
 - * `CHARGING_STATION_TOPIC` str [private,final,static]: nome del *topic* relativo all'utilizzo delle colonnine di ricarica;
 - * `CHARGING_EFFICIENCY_TOPIC` str [private,final,static]: nome del *topic* relativo all'efficienza delle colonnine;
 - * `GROUP_ID` str [private,final,static]: identificativo del gruppo di consumatori;
 - * `WINDOW_SIZE` int [private,final,static]: dimensione della finestra temporale per cui calcolare le aggregazioni.

- **Metodi**

- * `main(String[] args)` [public,static]: metodo principale che si occupa di inizializzare l'ambiente di esecuzione, definire sorgente e *sink* dei dati ed eseguire il *job* vero e proprio;
 - * `execute(StreamExecutionEnvironment env)` [public]: metodo che applica le trasformazioni a partire dai *source* definiti nel metodo *main*.



- **Classe astratta TimeDifferenceWindowFunction**

- **Metodi**

- * `isOccupied(T data)` boolean [protected,abstract]: metodo che restituisce true se il dato passato come argomento è relativo ad una misurazione in cui l'entità è in uso, false altrimenti;
 - * `apply(String uuid, TimeWindow window, Iterable<T> input, Collector<TimestampDifferenceResult> out)` void [public]: metodo che calcola il tempo totale in cui una data entità (colonnine o parcheggi) sono in uso in un certo periodo di tempo.

- **Classe ChargingStationTimeDifferenceWindowFunction**

- **Metodi**

- * `isOccupied(ChargingStationRawData data)` boolean [protected]: metodo che restituisce true se il dato passato come argomento è relativo ad una misurazione in cui le colonnine sono in uso, false altrimenti.

- **Note**

- * `ChargingStationTimeDifferenceWindowFunction` estende la classe `TimeDifferenceWindowFunction` e implementa il metodo `isOccupied`.

- **Classe ParkingTimeDifferenceWindowFunction**

- **Metodi**

- * `isOccupied(ParkingTimeDifferenceWindowFunction data)` boolean [protected]: metodo che restituisce true se il dato passato come argomento è relativo ad una misurazione in cui i parcheggi sono occupati, false altrimenti.

- **Note**

- * `ParkingTimeDifferenceWindowFunction` estende la classe `TimeDifferenceWindowFunction` e implementa il metodo `isOccupied`.

- **Classe TimestampDifferenceResult**

- **Attributi**

- * `occupiedDuration` Duration [private]: durata in cui l'entità è in uso;
 - * `notOccupiedDuration` Duration [private]: durata in cui l'entità non è in uso;



- * `sensorUuid` String [private]: identificativo univoco del sensore;
- * `timestamp` LocalDateTime [private]: data e ora di inizio della finestra temporale in cui sono state calcolate le durate di occupazione e non occupazione;
- * `groupName` String [private]: nome del gruppo di sensori a cui appartiene il sensore;
- * `sensorNames` Set<String> [private]: insieme dei nomi dei sensori che hanno prodotto le misurazioni.

- **Classe `ChargingEfficiencyJoinFunction`**

- `join(TimestampDifferenceResult parkingDiff, TimestampDifferenceResult chargingDiff)` calcola *efficiency* e *utilization rate* a partire da `TimestampDifferenceResult` di parcheggi e colonnine.

- **Classe `ChargingEfficiencyResult`**

- **Attributi:**

- * `utilizationRate` double [private]: tasso di utilizzo della colonnina di ricarica;
- * `efficiencyRate` double [private]: tasso di efficienza della colonnina di ricarica;
- * `sensorUuid` String [private]: identificativo univoco del sensore;
- * `timestamp` LocalDateTime [private]: data e ora di inizio della finestra temporale in cui sono state calcolate le durate di occupazione e non occupazione;
- * `groupName` String [private]: nome del gruppo di sensori a cui appartiene il sensore;
- * `sensorNames` Set<String> [private]: insieme dei nomi dei sensori che hanno prodotto le misurazioni.

- **Metodi:**

- * `zero(String sensorUuid, LocalDateTime timestamp, String groupName, Set<String> sensorNames)` `ChargingEfficiencyResult` [public,static]: metodo che costruisce e ritorna un'istanza di `ChargingEfficiencyResult` con `utilizationRate` e `efficiencyRate` posti a 0.

- **Classe `ParkingRawDataMapFunction`**

- **Metodi**

- * `map(GenericRecord record)` `ParkingRawData` [public]: metodo che converte un `GenericRecord` in un oggetto di tipo `ParkingRawData`.



- **Classe ChargingStationRawDataMapFunction**

- **Metodi**

- * `map(GenericRecord record) ChargingStationRawData [public]`: metodo che converte un `GenericRecord` in un oggetto di tipo `ChargingStationRawData`.

- **Interfaccia RecordSerializable**: precedentemente descritta nella sezione relativa al *job Heat Index*;

- **Classe ChargingEfficiencyRecordSerializableAdapter**

- **Attributi**

- * `adaptee ChargingEfficiencyResult [private, final]`: oggetto da adattare.

- **Metodi**

- * `toGenericRecord() GenericRecord [public]`: metodo che restituisce un oggetto di tipo `GenericRecord` a partire da `adaptee`.

3.6 ClickHouse

ClickHouse viene utilizzato per memorizzare i dati grezzi provenienti dai sensori, i risultati delle elaborazioni effettuate da Apache Flink e i dati aggregati tramite *Materialized View*.

3.6.1 Funzionalità utilizzate

3.6.1.1 *Materialized View*

Le *Materialized View* in ClickHouse sono un meccanismo per memorizzare fisicamente i risultati di una *query* specifica di selezione, che viene periodicamente aggiornata in base ai dati sottostanti. Questo meccanismo consente di migliorare le prestazioni delle *query* complesse e di semplificare l'architettura del sistema, riducendo la necessità di eseguire *query* costose e complesse ogni volta che si accede ai dati.

All'interno del progetto sono state utilizzate ai seguenti scopi:

- **calcolo aggregazioni**: per calcolare la media aritmetica delle misurazioni per un certo periodo di tempo;



- **miglioramento prestazioni:** per rendere più efficienti le *query* utilizzate più frequentemente per il popolamento di grafici e dashboard;

La documentazione è disponibile al seguente link:

<https://clickhouse.com/docs/en/guides/developer/cascading-materialized-views>
[Ultima consultazione 2024-06-05]

3.6.1.2 MergeTree

MergeTree è uno dei principali motori di archiviazione di ClickHouse, progettato per gestire grandi volumi di dati e fornire elevate prestazioni di lettura e scrittura. È particolarmente adatto per applicazioni in cui i dati vengono aggiunti in modo incrementale e le *query* vengono eseguite su intervalli di tempo specifici. Le caratteristiche principali sono:

- **partizionamento**, in cui i dati vengono partizionati in base a una colonna di data o di tempo, in modo che i dati più recenti siano memorizzati in partizioni separate e possano essere facilmente eliminati o archiviati;
- **ordine dei dati**, dove i dati vengono ordinati in base a una colonna di ordinamento, in modo che i dati siano memorizzati in modo sequenziale e possano essere letti in modo efficiente;
- **indice primario**, tramite il quale i dati vengono indicizzati in base a una colonna di chiave primaria, in modo che le *query* di ricerca e di *join* siano veloci ed efficienti;
- **merging dei dati**, in questo modo i dati vengono uniti in modo incrementale in background, in modo che le *query* di aggregazione e di analisi siano veloci ed efficienti;
- **compressione**, i dati vengono compressi in modo efficiente per ridurre lo spazio di archiviazione e migliorare le prestazioni di lettura e scrittura;
- **replica e distribuzione**, i dati possono essere replicati e distribuiti su più nodi per garantire l'affidabilità e la disponibilità del sistema.

La documentazione è disponibile al seguente link:

<https://clickhouse.com/docs/en/engines/table-engines/mergetree-family/mergetree>
[Ultima consultazione 2024-06-05]



3.6.2 Struttura

Per ciascuna tipologia di dati o aggregazioni è stata definita una tabella all'interno del database `sensors`, mantenendo il nome esatto del *topic* da cui provengono i dati. Le tabelle di questo tipo vengono popolate da Redpanda Connect, come precedentemente descritto nella sezione apposita. Per alcune tipologie di dati viene inoltre definita una *Materialized View* che calcola aggregazioni sui dati grezzi, in modo da rendere più efficienti le *query* che necessitano di tali elaborazioni. In particolare, viene calcolata la media aritmetica delle misurazioni per un certo periodo di tempo (differente a seconda del tipo di sensore e meglio descritto nelle sezioni seguenti), dato frequentemente utilizzato per il popolamento di grafici e *dashboard* in Grafana e che dunque necessita di essere calcolato in modo efficiente.

3.6.2.1 Misurazioni *air quality*

Di seguito viene rappresentata la tabella che contiene le misurazioni relative alla qualità dell'aria. Essa viene popolata da Redpanda Connect ed utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente.

air_quality	
sensor_uuid	UUID
sensor_name	String
group_name	Nullable(String)
timestamp	DateTime64
latitude	Float64
longitude	Float64
pm25	Float32
pm10	Float32
no2	Float32
o3	Float32
so2	Float32

Engine MergeTree()

Figura 12: Tabella `air_quality`



3.6.2.2 Misurazioni *parking*

Di seguito viene rappresentata la tabella che contiene le misurazioni relative all'occupazione dei parcheggi. Essa viene popolata da Redpanda Connect ed utilizza il motore di *storage MergeTree*, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente.

parking	
sensor_uuid	UUID
sensor_name	String
group_name	Nullable(String)
timestamp	DateTime64
latitude	Float64
longitude	Float64
is_occupied	Bool

Engine MergeTree()

Figura 13: Tabella parking

3.6.2.3 Misurazioni *recycling point*

Di seguito viene rappresentata la tabella che contiene le misurazioni relative al riempimento delle isole ecologiche. Essa viene popolata da Redpanda Connect ed utilizza il motore di *storage MergeTree*, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente.



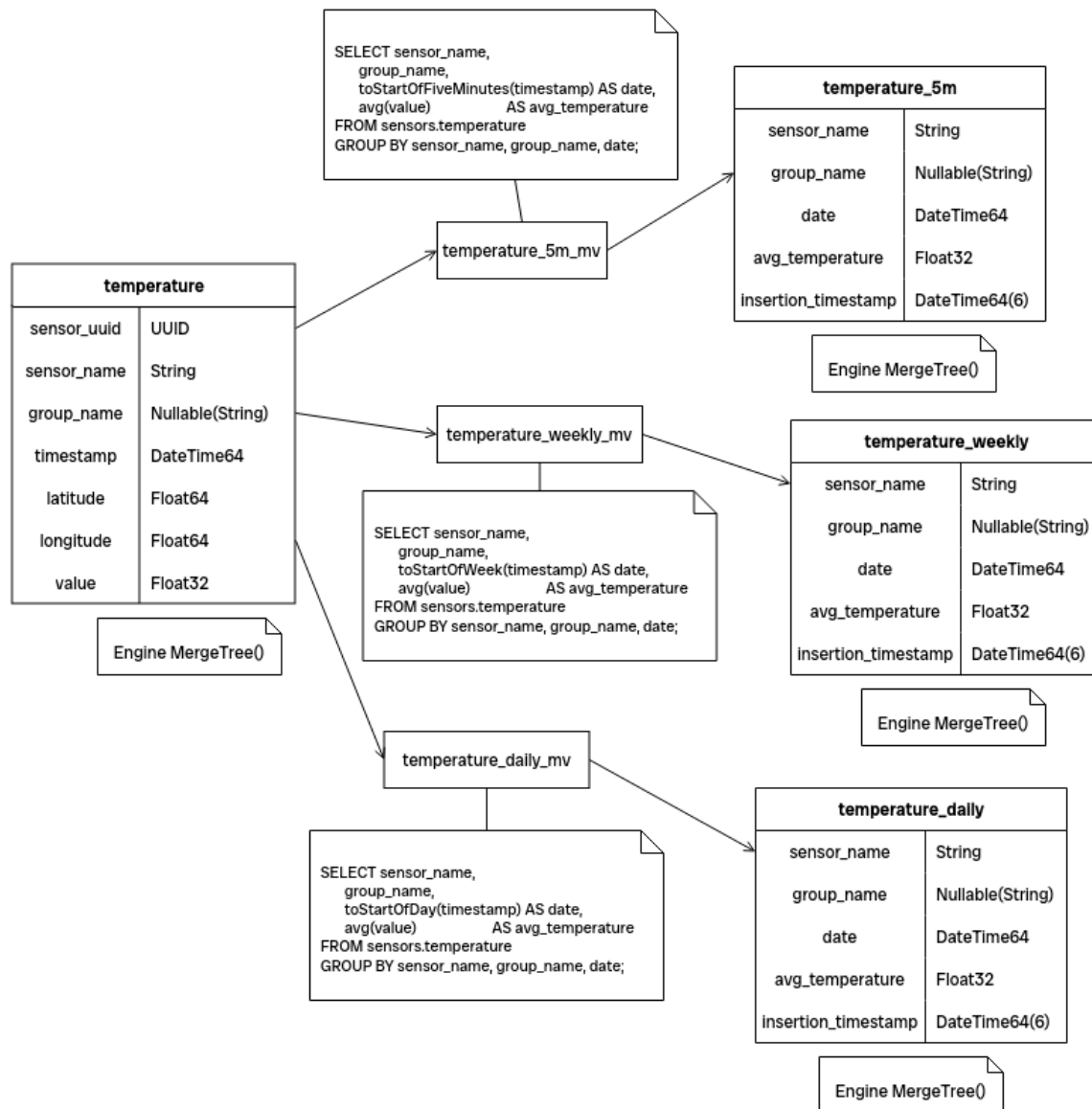
recycling_point	
sensor_uuid	UUID
sensor_name	String
group_name	Nullable(String)
timestamp	DateTime64
latitude	Float64
longitude	Float64
filling	Float32

Engine MergeTree()

Figura 14: Tabella recycling_point

3.6.2.4 Misurazioni *temperature*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni di temperatura. La tabella *temperature* utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo delle *Materialized View* *temperature_5m_mv*, *temperature_weekly_mv* e *temperature_daily_mv* è possibile aggregare e trasferire i dati sulle tabelle *temperature_5m*, *temperature_weekly* e *temperature_daily*, che contengono rispettivamente la media delle misurazioni per 5 minuti, giornaliere e settimanali.

Figura 15: Tabelle e *materialized view* temperature

3.6.2.5 Misurazioni *traffic*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni di temperatura. La tabella *traffic* utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo della *Materialized View* *traffic_1h_mv* è



possibile aggregare e trasferire i dati sulla tabella `traffic_1h`, che contiene la media del numero di veicoli e velocità per ogni ora.

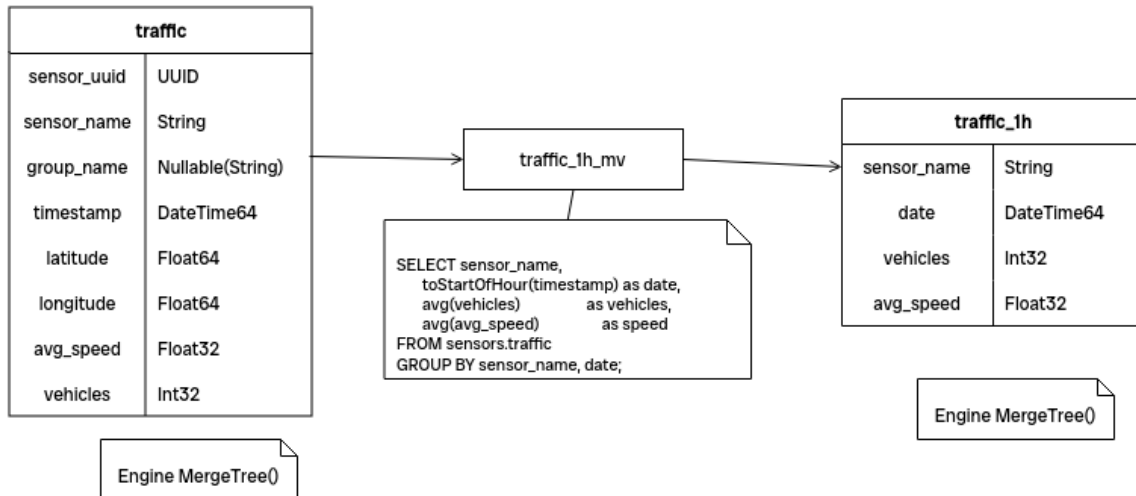
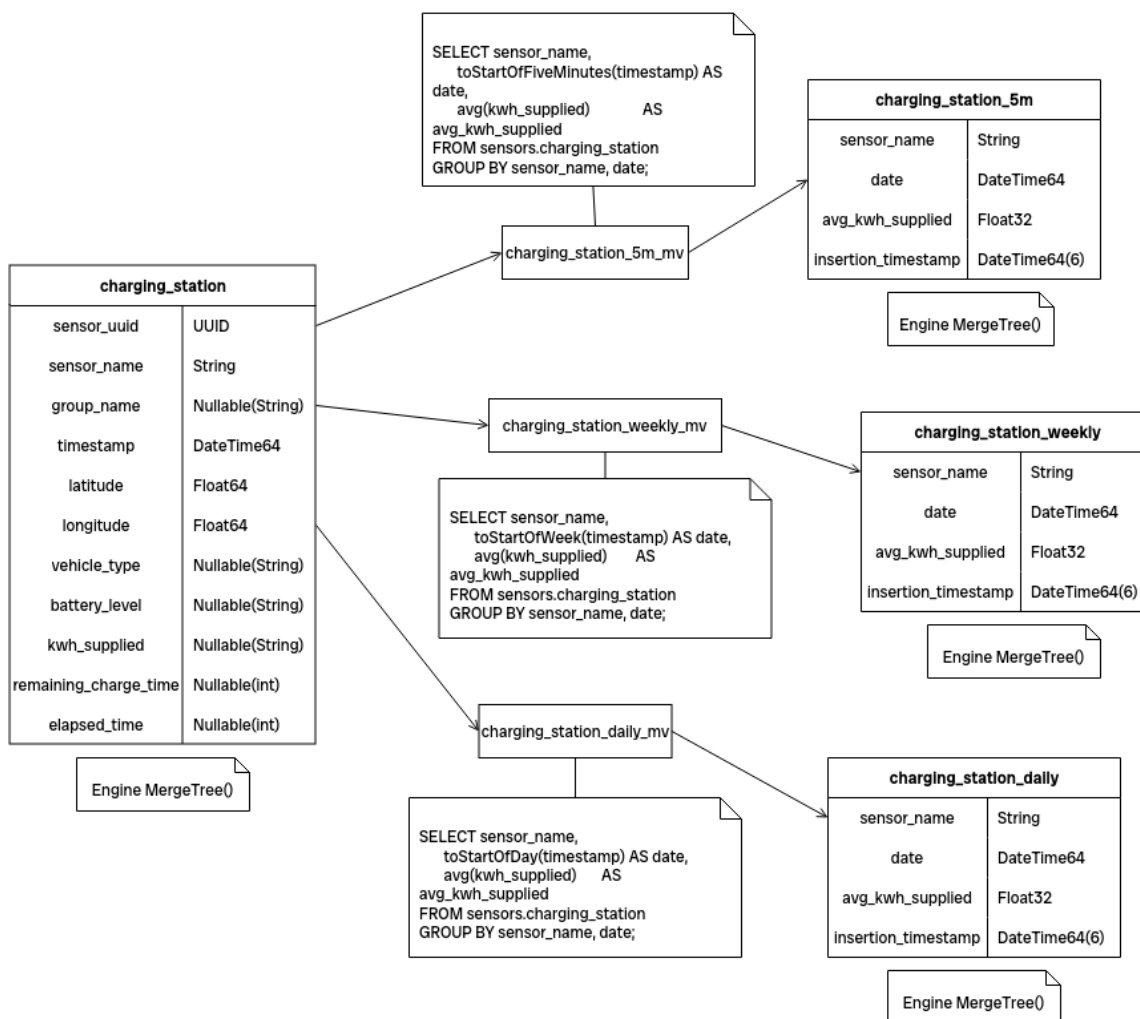


Figura 16: Tabelle e *materialized view* traffic

3.6.2.6 Misurazioni *charging station*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni riguardanti l'occupazione delle colonnine di ricarica. La tabella `charging_station` utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo delle *Materialized View* `charging_station_5m_mv`, `charging_station_weekly_mv` e `charging_station_daily_mv` è possibile aggregare e trasferire i dati sulle tabelle `charging_station_5m`, `charging_station_weekly` e `charging_station_daily`, che contengono rispettivamente la media dei kwh erogati per 5 minuti, giornalmente e settimanalmente.

Figura 17: Tabelle e *materialized view* charging_station

3.6.2.7 Misurazioni *precipitation*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni riguardanti le precipitazioni. La tabella *precipitation* utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo delle *Materialized View* *precipitation_1h_mv*, *precipitation_daily_mv*, *precipitation_weekly_mv* e *precipitation_yearly_mv* è possibile aggregare e trasferire i dati sulle tabelle *precipitation_1h*, *precipitation_daily*, *precipitation_weekly* e *precipitation_yearly* che contengono la media dei millimetri di



acqua caduti rispettivamente per ogni ora, giorno, settimana e anno.

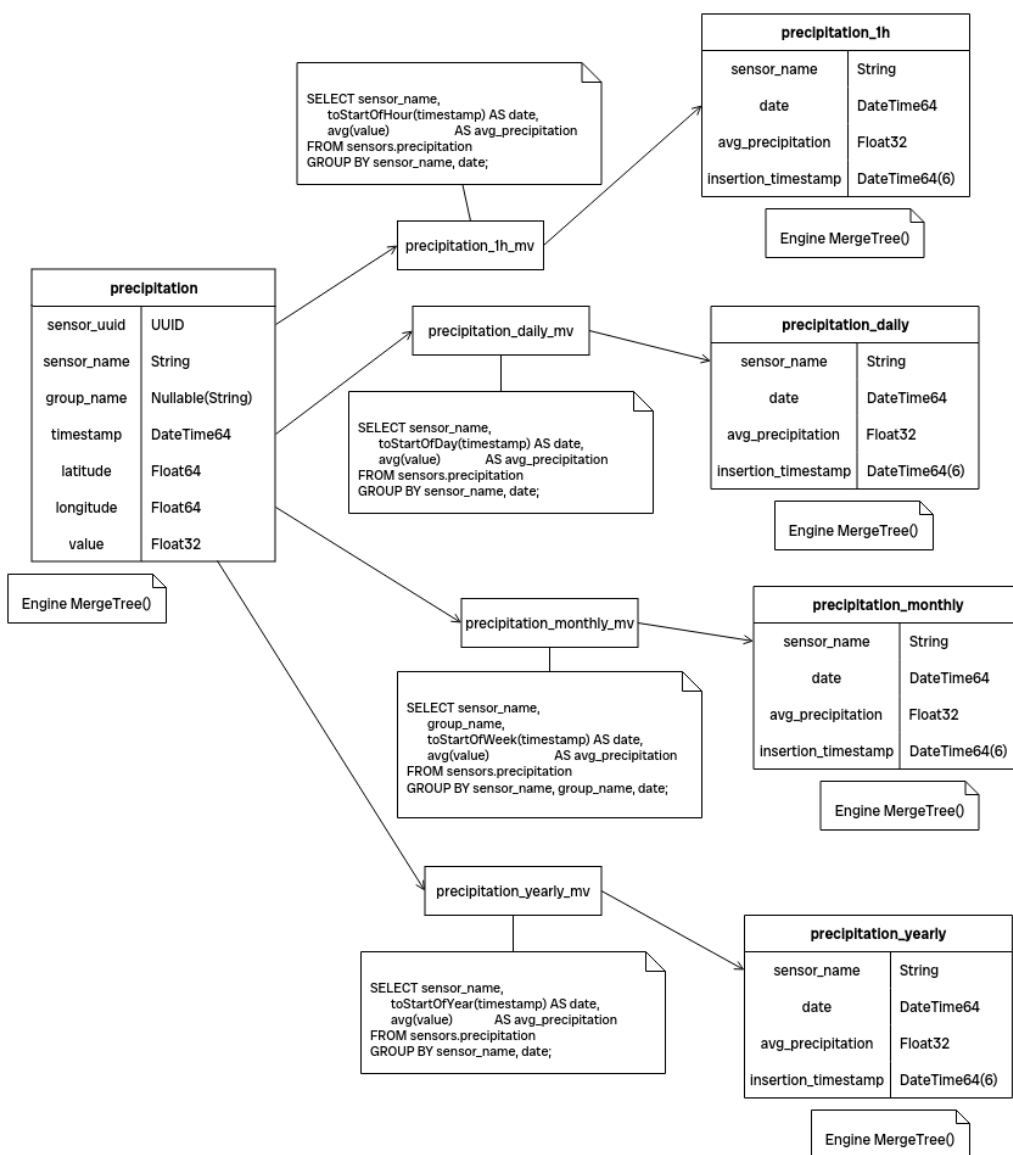


Figura 18: Tabelle e *materialized view* precipitation

3.6.2.8 Misurazioni *river level*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni riguardanti il livello dei fiumi. La tabella `river_level` utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente



ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo delle *Materialized View* `river_level_1h_mv`, `river_level_daily_mv`, `river_level_weekly_mv` e `river_level_yearly_mv` è possibile aggregare e trasferire i dati sulle tabelle `river_level_1h`, `river_level_daily`, `river_level_weekly` e `river_level_yearly` che contengono rispettivamente la media oraria, giornaliera, mensile e annuale del livello dei fiumi (misurato in metri).

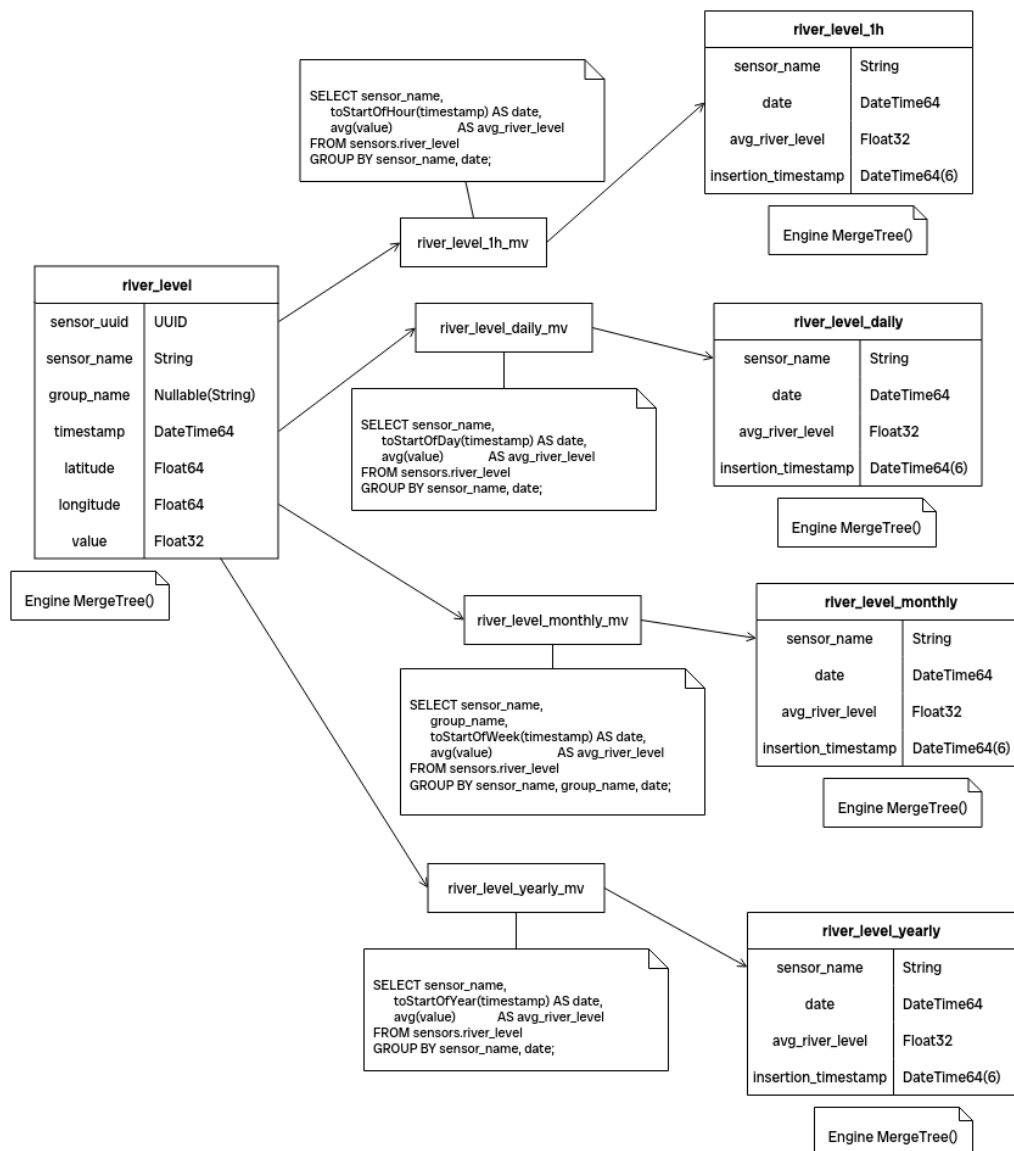


Figura 19: Tabelle e *materialized view* `river_level`



3.6.2.9 Misurazioni *humidity*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni di umidità. La tabella *humidity* utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo delle *Materialized View* *humidity_5m_mv*, *humidity_weekly_mv* e *humidity_daily_mv* è possibile aggregare e trasferire i dati sulle tabelle *humidity_5m*, *humidity_weekly* e *humidity_daily*, che contengono rispettivamente la media delle misurazioni di umidità relativa per 5 minuti, giornaliere e settimanali.

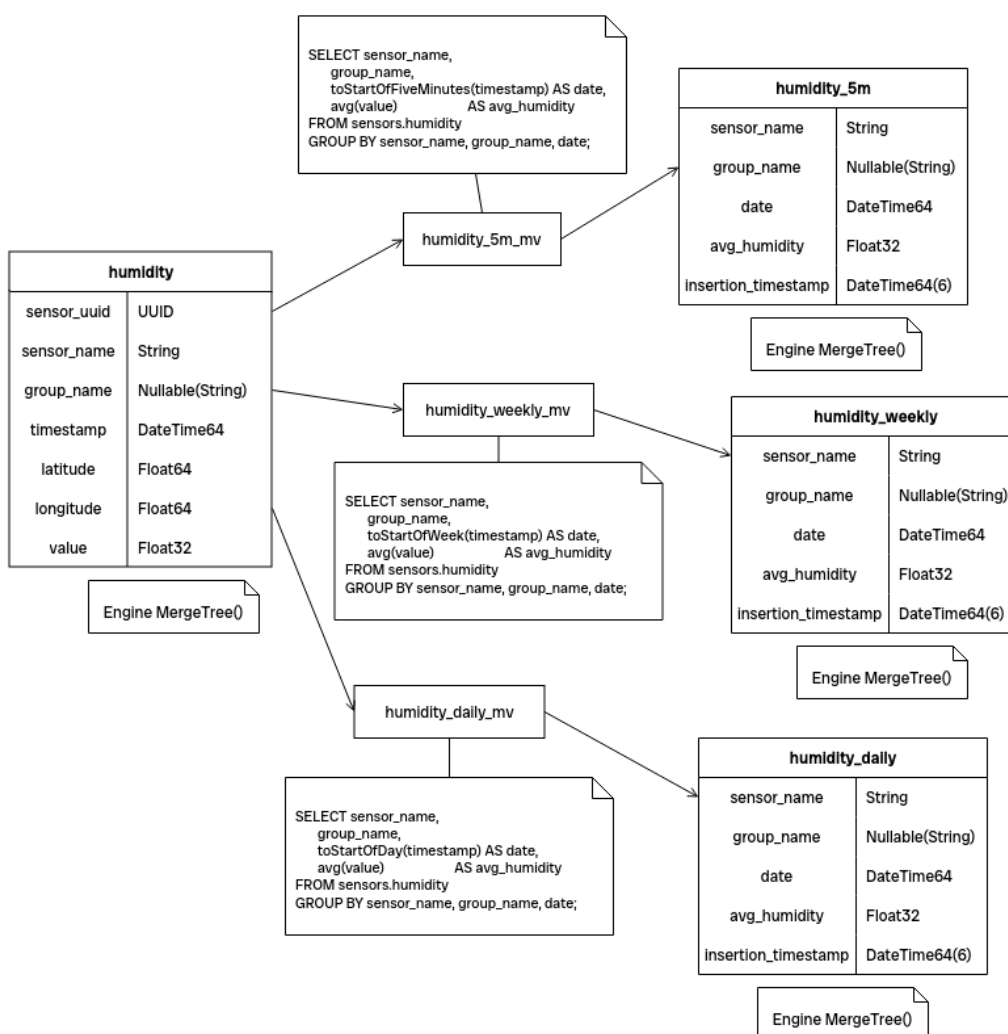


Figura 20: Tabelle e *materialized view* *humidity*



3.6.2.10 Misurazioni *heat index*

Di seguito viene rappresentata la configurazione per l'archiviazione delle misurazioni dello *heat index*. La tabella *humidity* utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente. Tramite l'utilizzo della *Materialized View* *heat_index_daily_mv* è possibile aggregare e trasferire i dati sulla tabella *heat_index_daily* che contiene la media giornaliera delle misurazioni.

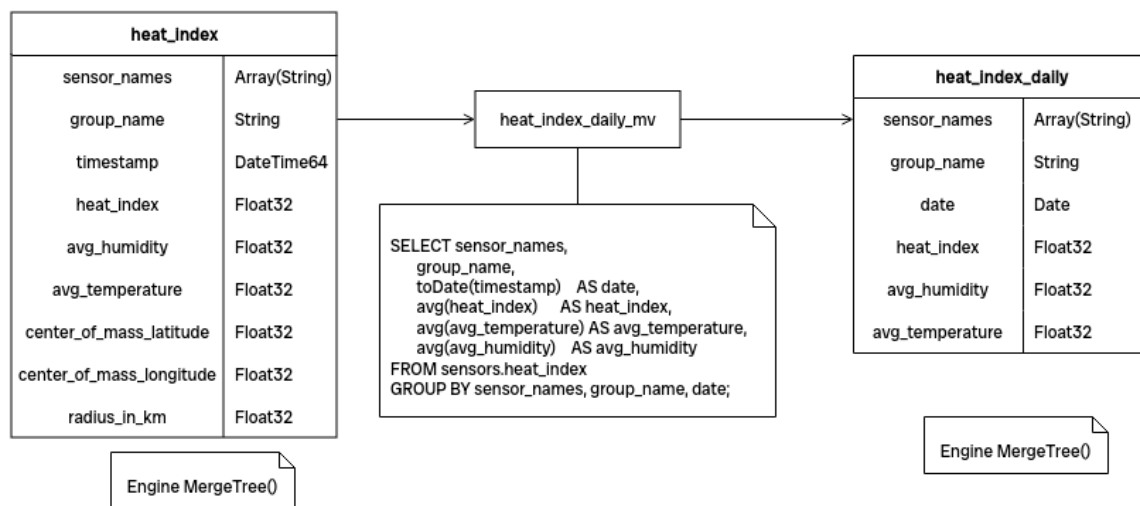


Figura 21: Tabelle e *materialized view* *heat_index*

3.6.2.11 Misurazioni *charging efficiency*

Di seguito viene rappresentata la tabella che contiene le misurazioni relative all'efficienza delle colonnine elettriche. Essa viene popolata da Redpanda Connect ed utilizza il motore di *storage* MergeTree, il quale è ottimizzato per archiviare ed analizzare dati ordinati cronologicamente, in modalità *append-only*; il suo utilizzo è motivato dal fatto che tali misurazioni sono generalmente ordinate cronologicamente.



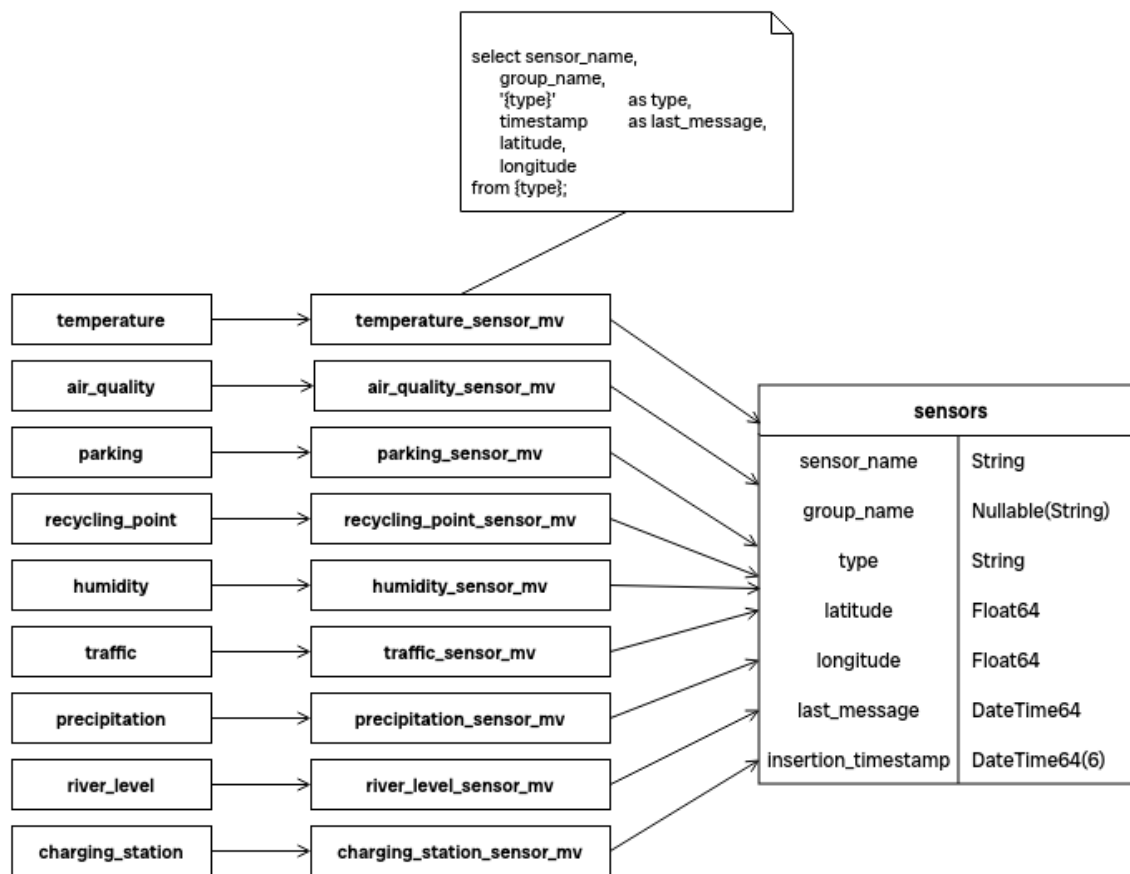
charging_efficiency	
sensor_uuid	UUID
sensor_names	Array(String)
group_name	String
timestamp	DateTime64
efficiency_rate	Float64
utilization_hate	Float64

Engine MergeTree()

Figura 22: Tabella charging_efficiency

3.6.2.12 Tabella sensors

In diversi scenari all'interno di Grafana è necessario poter ottenere i dati di tutti i sensori, indipendentemente dalla loro tipologia, per mostrarli ad esempio in una mappa complessiva o in una tabella contenente la data di ricezione dell'ultimo messaggio da parte di un determinato dispositivo o ancora per la costruzione dei filtri sul tipo e nome di sensore. Al fine di rendere maggiormente efficiente queste operazioni abbiamo realizzato una tabella `sensors` popolata attraverso delle *Materialized View*, che si occupano di trasferire i dati a partire dalle tabelle dei dati grezzi (come `temperature`, `humidity`...). All'interno commento contenuto nel diagramma seguente è presente un esempio generico di *query* utilizzata per la definizione delle *Materialized View*; al posto del *placeholder* type è sufficiente sostituire il nome di ciascuna tabella di dati grezzi (`temperature`, `humidity`...). I campi di quest'ultime sono omessi per semplicità del diagramma e sono stati precedentemente illustrati nella sezione dedicata alle misurazioni di ciascuna tipologia.

Figura 23: Tabelle e *materialized view* sensors



3.7 Grafana

Grafana è uno strumento di analisi e monitoraggio che permette di visualizzare dati provenienti da una varietà di fonti. È sviluppato principalmente in Go e Typescript ed si è diffuso notevolmente in quanto offre funzionalità per la creazione di *dashboard* personalizzabili e intuitive.

3.7.1 Dashboard

Sono state realizzate tre *dashboard* distinte, ciascuna per adempiere a uno specifico compito:

- **raw data**: mostra i dati grezzi provenienti dai sensori in delle tabelle filtrabili. Inoltre contiene dei pannelli che consentono di visualizzare informazioni generali sui sensori, come una mappa con la loro posizione e una tabella con l'ultimo messaggio ricevuto da ciascuno di essi;
- **urban data**: mostra i dati aggregati relativi al traffico, isole ecologiche, parcheggi e colonnine di ricarica. In particolare, sono presenti grafici che mostrano l'andamento temporale delle misurazioni e delle aggregazioni calcolate;
- **environmental data**: mostra i dati aggregati relativi alla qualità dell'aria, temperatura, umidità, precipitazioni, e livello dei fiumi. Anche in questo caso sono presenti grafici che mostrano l'andamento temporale delle misurazioni e delle aggregazioni calcolate.

La suddivisione è stata realizzata in quanto, oltre alla differenza riguardante la natura dei dati, le varie *dashboard* vengono utilizzate da utenti con esigenze diverse: i dati ambientali possono essere adoperati al fine di prevenire situazioni di emergenza, mentre quelli urbanistici possono essere utilizzati con fini economici o per migliorare i servizi offerti ai cittadini.

3.7.2 ClickHouse datasource plugin

Il plugin ClickHouse per Grafana è un'implementazione che consente di utilizzare ClickHouse come fonte di dati per Grafana. Questo plugin facilita la connessione e l'interrogazione dei dati archiviati in ClickHouse direttamente da Grafana. La documentazione è disponibile al seguente link:

<https://grafana.com/grafana/plugins/grafana-clickhouse-datasource/> [Ultima consultazione 2024-06-05]



La configurazione di tale *datasource* è contenuta nella cartella `grafana/provisioning/datasources/default.yaml` della repository del progetto.

3.7.3 Variabili Grafana

Al fine di rendere le *dashboard* più flessibili e personalizzabili, sono state utilizzate le variabili di Grafana. Esse consentono di definire parametri dinamici che possono essere utilizzati per filtrare, raggruppare o personalizzare i dati visualizzati nei pannelli delle dashboard. La documentazione è disponibile al seguente link:

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/dashboards/variables/> [Ultima consultazione 2024-06-05]

3.7.3.1 Variabili nella *dashboard raw data*

- `sensor_type`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al tipo di sensore;
- `sensor_name`: dipende dalla variabile `sensor_type` e permette di filtrare i dati visualizzati in base al nome del sensore;

3.7.3.2 Variabili nella *dashboard urban data*

- `group_name_charging`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di colonnine di ricarica;
- `group_name_parking`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di parcheggi;
- `sensor_name_recycling_point`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al nome del sensore di isole ecologiche;
- `sensor_name_traffic`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al nome del sensore di traffico;

3.7.3.3 Variabili nella *dashboard environmental data*

- `group_name_temperature`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di sensori di temperatura;



- `sensor_name_humidity`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di sensori di umidità;
- `sensor_name_precipitation`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di sensori di precipitazioni;
- `sensor_name_river_level`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di sensori di livello dei fiumi;
- `sensor_name_air_quality`: permette di filtrare i dati visualizzati in base al `group_name` di sensori di qualità dell'aria;

3.7.4 Grafana Alerts

Gli *alert* di Grafana sono una funzionalità che permettono di definire, configurare e gestire avvisi basati su condizioni specifiche rilevate nei dati monitorati. Questi avvisi consentono agli utenti di essere informati tempestivamente su eventuali problemi o cambiamenti critici nei loro sistemi, applicazioni o infrastrutture.

La documentazione è disponibile al seguente link:

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/alerting/> [Ultima consultazione 2024-06-05]

3.7.4.1 Configurazione delle regole di alert

Definiscono le condizioni che devono essere soddisfatte per attivare un alert. Gli eventi che generano un alert sono:

- temperatura maggiore di 40°C per più di 30 minuti;
- isola ecologica piena al 100% per più di 24 ore;
- superamento dell'indice 3 dell'EAQI (indice di qualità dell'aria);
- livello di precipitazioni superiore a 10 mm in 1 ora.

Gli alert possono possedere tre diversi tipi di stati:

- **normal**, indica che l'alert non è attivo perché le condizioni definite per l'attivazione dell'avviso non sono soddisfatte;



- **pending**, indica che le metriche monitorate stanno iniziando a deviare dalle condizioni normali ma non hanno ancora soddisfatto completamente le condizioni per attivare l'alert;
- **firing**, significa che le condizioni definite per l'avviso sono state soddisfatte e l'alert è attivo.

3.7.4.2 Configurazione canale di notifica

Per configurare un canale di notifica è necessario:

1. nel menù di sinistra, cliccare sull'icona "Alerting";
2. selezionare la voce "Notification channels";
3. cliccare sul pulsante "Add channel" per aggiungere un nuovo canale di notifica;
4. selezionare il tipo di canale di notifica desiderato tra quelli disponibili;
5. configurare le impostazioni del canale di notifica in base alle proprie esigenze;
6. cliccare sul pulsante "Save" per salvare le impostazioni del canale di notifica.

3.7.5 Altri plugin

3.7.5.1 Orchestra Cities Map plugin

Progettato per facilitare la visualizzazione e l'analisi dei dati geospaziali all'interno di piattaforme di pianificazione urbana e sviluppo territoriale.

Le principali funzionalità offerte da questo plugin sono:

- **visualizzazione dei dati geospaziali**: consente agli utenti di visualizzare dati geografici, come mappe, strati di dati GIS (Geographic Information System), punti di interesse e altre informazioni territoriali;
- **interfaccia interattiva**: offre un'interfaccia utente intuitiva e interattiva che consente agli utenti di esplorare e interagire con i dati geospaziali in modo dinamico;
- **personalizzazione**: offre opzioni di personalizzazione per adattarsi alle esigenze specifiche dell'utente o dell'applicazione;



- **analisi dei dati:** oltre alla semplice visualizzazione dei dati geospaziali, il plugin può anche supportare funzionalità avanzate di analisi dei dati, come l'identificazione di cluster, la creazione di heatmap e l'esecuzione di analisi spaziali per identificare tendenze o pattern significativi nei dati territoriali;
- **integrazione:** è progettato per integrarsi facilmente con altre componenti dell'ecosistema Orchestra Cities e con altre piattaforme software di pianificazione urbana e sviluppo territoriale.

La documentazione è disponibile al seguente link:

<https://grafana.com/grafana/plugins/orchestracities-map-panel/?tab=installation>
[Ultima consultazione 2024-06-05]



4 Requisiti

4.1 Requisiti funzionali

Codice	Importanza	Stato	Descrizione
RF-1	Obbligatorio	Soddisfatto	La parte <i>IoT</i> dovrà essere simulata attraverso tool di generazione di dati casuali che tuttavia siano verosimili.
RF-2	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema dovrà permettere la visualizzazione dei dati in tempo reale.
RF-3	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema dovrà permettere la visualizzazione dei dati storici.
RF-4	Obbligatorio	Soddisfatto	L'utente deve poter accedere all'applicativo senza bisogno di autenticazione.
RF-5	Obbligatorio	Soddisfatto	L'utente dovrà poter visualizzare su una mappa la posizione geografica dei sensori.
RF-6	Obbligatorio	Soddisfatto	I tipi di dati che il sistema dovrà visualizzare sono: temperatura, umidità, qualità dell'aria, precipitazioni, traffico, stato delle colonnine di ricarica, stato di occupazione dei parcheggi, stato di riempimento delle isole ecologiche e livello di acqua.
RF-7	Obbligatorio	Soddisfatto	I dati dovranno essere salvati su un database OLAP.
RF-8	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di temperatura rilevano i dati in gradi Celsius
RF-9	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di umidità rilevano la percentuale di umidità nell'aria.



Codice	Importanza	Stato	Descrizione
RF-10	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori livello acqua rilevano il livello di acqua nella zona di installazione
RF-11	Obbligatorio	Soddisfatto	I dati provenienti dai sensori dovranno contenere i seguenti dati: id sensore _G , data, ora e valore.
RF-12	Obbligatorio	Soddisfatto	Sviluppo di componenti quali widget _G e grafici per la visualizzazione dei dati nelle dashboard _G .
RF-13	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema deve permettere di visualizzare una dashboard _G generale con tutti i dati dei sensori.
RF-14	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema deve permettere di visualizzare una dashboard _G specifica per ciascuna categoria di sensori.
RF-15	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G dei dati grezzi dovranno essere presenti: una mappa interattiva, un widget _G con il conteggio totale dei sensori divisi per tipo, una tabella contenente tutti i sensori e la data in cui essi hanno trasmesso l'ultima volta. Inoltre verranno mostrate delle tabelle con i dati filtrabili suddivisi per sensore _G e un grafico time series _G con tutti i dati grezzi.



Codice	Importanza	Stato	Descrizione
RF-16	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G della temperatura dovranno essere visualizzati: un grafico time series _G , una mappa interattiva, la temperatura media, minima e massima di un certo periodo di tempo, la temperatura in tempo reale e la temperatura media per settimana e mese.
RF-17	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G dell'umidità dovranno essere visualizzati: un grafico time series _G , una mappa interattiva, l'umidità media, minima e massima di un certo periodo di tempo e l'umidità in tempo reale.
RF-18	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G della qualità dell'aria dovranno essere visualizzati: un grafico time series _G , una mappa interattiva, la qualità media dell'aria in un certo periodo e in tempo reale, i giorni con la qualità dell'aria migliore e peggiore in un certo periodo di tempo.
RF-19	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G delle precipitazioni dovranno essere visualizzati: un grafico time series _G , una mappa interattiva, la quantità media di precipitazioni in un certo periodo e in tempo reale, i giorni con la quantità di precipitazioni maggiore e minore in un certo periodo di tempo.



Codice	Importanza	Stato	Descrizione
RF-20	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G del traffico dovranno essere visualizzati: un grafico time series _G , il numero di veicoli e la velocità media in tempo reale, il calcolo dell'ora di punta sulla base del numero di veicoli e velocità media.
RF-21	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G delle colonnine di ricarica dovranno essere visualizzati: una mappa interattiva contenente anche lo stato e il numero di colonnine di ricarica suddivise per stato in tempo reale.
RF-22	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G dei parcheggi dovranno essere visualizzati: una mappa interattiva con il rispettivo stato di occupazione e il conteggio di parcheggi suddivisi per stato di occupazione in tempo reale.
RF-23	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G delle isole ecologiche dovranno essere visualizzati: una mappa interattiva con il rispettivo stato di riempimento e il conteggio di isole ecologiche suddivise per stato di riempimento in tempo reale.
RF-24	Obbligatorio	Soddisfatto	Nella dashboard _G del livello di acqua dovranno essere visualizzati: un grafico time series _G , una mappa interattiva, il livello medio di acqua in un certo periodo e in tempo reale.



Codice	Importanza	Stato	Descrizione
RF-25	Obbligatorio	Soddisfatto	Nel caso in cui non ci siano dati visualizzabili, il sistema deve notificare l'utente mostrando un opportuno messaggio.
RF-26	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di qualità dell'aria inviano i seguenti dati: <i>PM10</i> , <i>PM2.5</i> , <i>NO2</i> , <i>CO</i> , <i>O3</i> , <i>SO2</i> in $\mu g/m^3$.
RF-27	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di precipitazioni inviano la quantità di pioggia caduta in mm.
RF-28	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di traffico inviano il numero di veicoli rilevati e la velocità in km/h.
RF-29	Obbligatorio	Soddisfatto	Le colonnine di ricarica inviano lo stato di occupazione e il tempo mancante alla fine della ricarica (se occupate) o il tempo passato dalla fine dell'ultima ricarica (se libere).
RF-30	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di parcheggio inviano lo stato di occupazione del parcheggio (1 se occupato, 0 se libero) e il timestamp dell'ultimo cambiamento di stato.
RF-31	Obbligatorio	Soddisfatto	Le isole ecologiche inviano lo stato di riempimento come percentuale.
RF-32	Obbligatorio	Soddisfatto	I sensori di livello di acqua inviano il livello di acqua in cm.
RF-33	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema deve permettere di filtrare i dati visualizzati in base a un intervallo di tempo.
RF-34	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema deve permettere di filtrare i dati visualizzati in base al sensore _G che li ha generati.



Codice	Importanza	Stato	Descrizione
RF-37	Obbligatorio	Soddisfatto	Deve essere implementato almeno un simulatore di dati.
RF-39	Obbligatorio	Soddisfatto	I simulatori devono produrre dei dati verosimili.
RF-40	Obbligatorio	Soddisfatto	Per ciascuna tipologia di sensore _G dev'essere sviluppata almeno una dashboard _G .
RF-50	Obbligatorio	Soddisfatto	Il sistema deve permettere di filtrare i dati visualizzati in base al tipo di sensore che li ha prodotti.

Tabella 3: Requisiti funzionali

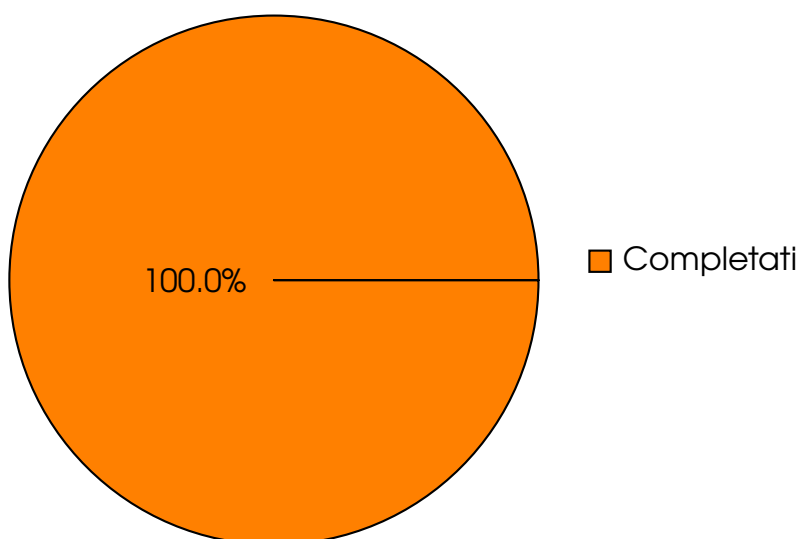


Figura 24: Percentuale di soddisfacimento dei requisiti funzionali

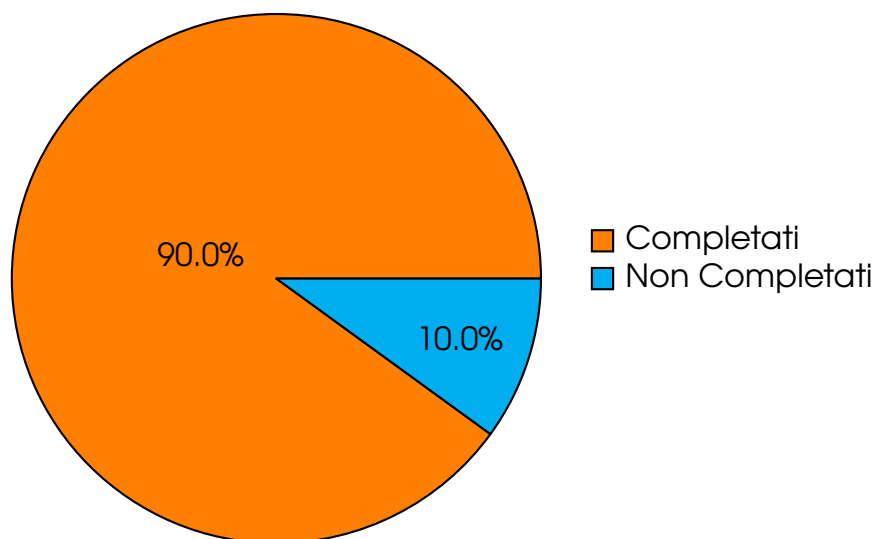


Figura 25: Percentuale di soddisfacimento dei requisiti totale