Luca Cabibbo

Architettura dei Sistemi Software

Esecuzione di applicazioni Spring con Docker

dispensa asw875

ottobre 2025

Composition is frozen improvisation.
Igor Stravinsky

- Riferimenti

- Docker
  https://www.docker.com/
  https://docs.docker.com/
- Docker Compose
  https://docs.docker.com/compose/
- Kickstart Your Spring Boot Application Development
  https://www.docker.com/blog/kickstart-your-spring-boot-application-development/

- Obiettivi e argomenti

- Obiettivi
  - mostrare come eseguire con Docker una semplice applicazione Spring Boot
  - mostrare come eseguire con Docker un sistema software distribuito composto da più applicazioni Spring Boot, mediante la composizione di container Docker
- Argomenti
  - introduzione
  - un'applicazione contenitorizzata
  - esecuzione di applicazioni multi-container
  - composizione con Docker
  - composizione con Docker Compose
  - discussione

* Introduzione

- I container sono un'opzione di rilascio per i sistemi software distribuiti, sempre più diffusa
  - ogni container ("application container") incapsula un servizio software, insieme allo stack software necessario per quel servizio
  - in questa dispensa discutiamo l'esecuzione di applicazioni distribuite Spring Boot mediante container Docker
    - mostriamo prima un esempio introduttivo, di una semplice applicazione web Spring Boot, eseguita con un singolo container
    - poi illustriamo l'esecuzione di un'applicazione composta da più servizi software, eseguita mediante più container

* Un'applicazione contenitorizzata

- Illustriamo ora un esempio relativo all'esecuzione di una semplice applicazione web (Spring Boot) in un container Docker
  - l'applicazione lucky-word – per il codice e la configurazione si veda la dispensa su Spring Boot
  - non è necessario modificare né il codice né la configurazione

Un'applicazione contenitorizzata

- Ecco il Dockerfile per l'applicazione – lo mettiamo nella cartella principale del progetto Spring Boot
  - utilizziamo l'immagine di base eclipse-temurin:21-jdk con Open JDK

```
# Dockerfile for the lucky-word application

FROM eclipse-temurin:21-jdk

# Install the application binary
ADD build/libs/lucky-word.jar lucky-word.jar

EXPOSE 8080

# Launch the Java application
ENTRYPOINT ["java", "-Xmx128m", "-Xms128m", "-jar", "lucky-word.jar"]
```

  - un'immagine di base alternativa per Java è openjdk:21-jdk

Un'applicazione contenitorizzata

- Ecco come costruire ed eseguire questa applicazione
  - prima di tutto, bisogna effettuare la build (Java) dell'applicazione Spring Boot lucky-word (nell'ambiente di sviluppo)

```
gradle build
```

    - questo crea, tra l'altro, il file build/libs/lucky-word.jar citato nel Dockerfile
  - dopo di che, bisogna costruire un'immagine di container per l'applicazione (nell'ambiente per Docker)

```
# crea l'immagine del container
docker image build --rm -t lucky-word .
```

    - questo crea l'immagine Docker lucky-word

Un'applicazione contenitorizzata

- Ecco come costruire ed eseguire questa applicazione
  - infine, bisogna creare e avviare il container (sempre nell'ambiente per Docker)

```
# esegue l'applicazione (con il profile di default)
docker container run -p 8080:8080 --name=lucky-word lucky-word
```

  - è possibile avviare l'applicazione con un profilo diverso utilizzando una variabile d'ambiente
    - si può impostare con l'opzione -e di docker run

```
# esegue l'applicazione con il profilo italiano
docker container run -p 8080:8080 --name=lucky-word
                     -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=italian
                     lucky-word
```

- Spring Boot e Docker

- È utile discutere brevemente le modalità di utilizzo integrato di Spring Boot e Docker
  - un primo approccio è quello che è stato appena mostrato
    - effettuare la build dell'applicazione Spring Boot con Gradle (o Maven) e poi la costruzione dell'immagine con Docker
  - un approccio alternativo – ma non necessariamente migliore
    - effettuare la build dell'applicazione Spring Boot ed anche la costruzione dell'immagine con Gradle (o Maven) – mediante dei plugin
    - il container va poi comunque creato ed avviato con Docker
  - un altro approccio – secondo me peggiore e sconsigliato
    - copiare nel container i file sorgenti ed effettuare la build dell'applicazione con Gradle (o Maven) all'interno del container – con l'opzione RUN del Dockerfile o, peggio, quando il container viene avviato

- Errori comuni

- Attenzione ad evitare i seguenti errori comuni (che prima o poi commettono tutti)
  - dopo aver modificato (il codice sorgente di) un'applicazione, ricordarsi (sempre!) di fare quanto segue
    - effettuare (o ripetere) la build (Java) dell'applicazione
    - effettuare (o ripetere) la build (Docker) dell'immagine Docker
    - effettuare (o ripetere) il push su Docker Hub dell'immagine Docker (se necessario)
    - effettuare (o ripetere) il pull da Docker Hub dell'immagine Docker (se necessario)
    - se non si è cambiato il numero di versione dell'immagine, potrebbe essere necessario anche rimuovere l'immagine Docker precedente dalla cache locale

* Esecuzione di applicazioni multi-container

- Un container Docker ha lo scopo di incapsulare ed eseguire una singola istanza di un servizio software individuale
  - tuttavia, un sistema software distribuito è in genere composto da molti servizi software
  - inoltre, per motivi di scalabilità e disponibilità, questi servizi sono spesso anche replicati
  - l'esecuzione di un sistema software distribuito, costituito da più servizi software, può essere effettuata utilizzando molti container – un container per ciascun servizio
  - la definizione e l'esecuzione di applicazioni multi-container – per supportare la realizzazione di sistemi software distribuiti complessi con la tecnologia dei container – è chiamata composizione di container

Composizione di container

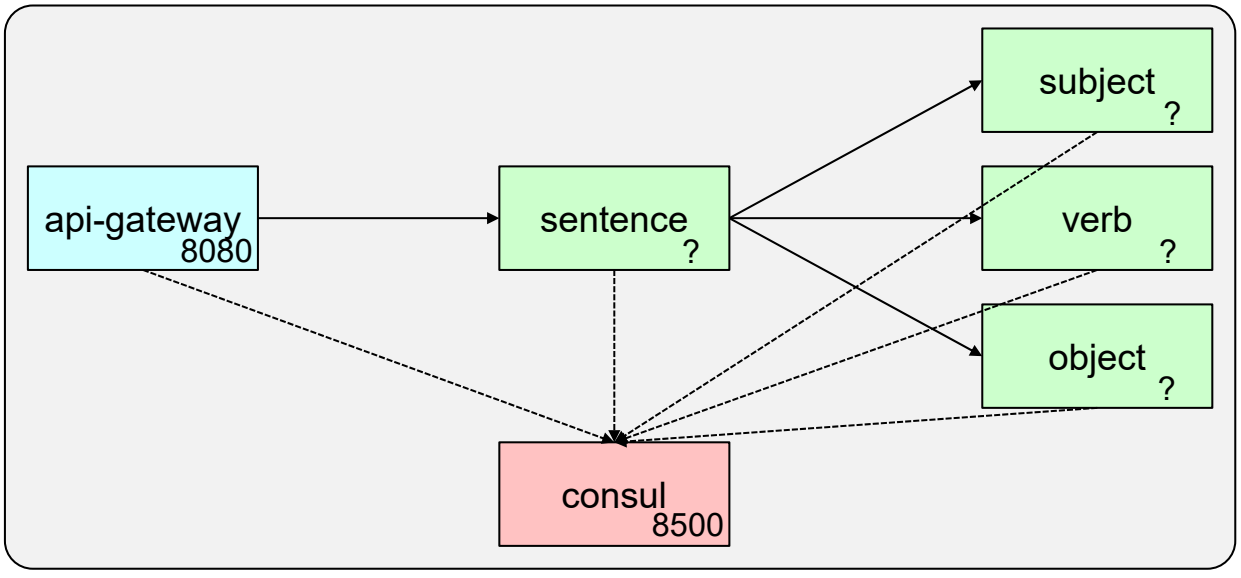
- La *composizione di container* riguarda la definizione e l'esecuzione di sistemi software multi-servizi e multi-container
  - ciascun servizio viene rappresentato da un'immagine di container
  - ogni replica di un servizio viene eseguita come un'istanza di container
  - l'intera applicazione è definita dalla composizione di questi container – tra loro distribuiti
  - le funzionalità di base di Docker Engine esaminate finora consentono di gestire le forme più semplici di composizione
    - le applicazioni multi-container possono però essere gestite in modo più semplice ed efficace mediante strumenti aggiuntivi dell'ecosistema di Docker – in particolare, questa dispensa esamina l'utilizzo di Docker Compose

Sulla “composizione”

- La composizione di container fa riferimento alla nozione (generale) di “composizione” nell’architettura del software – in cui un sistema software è “composto” da più elementi architetturali
  - nella composizione di container, un’applicazione è composta (in modo specifico) da più container
  - la “composizione di container” è però una nozione differente sia dalla “composizione di componenti” che dalla “composizione di servizi” – di cui si parla in altre parti del corso

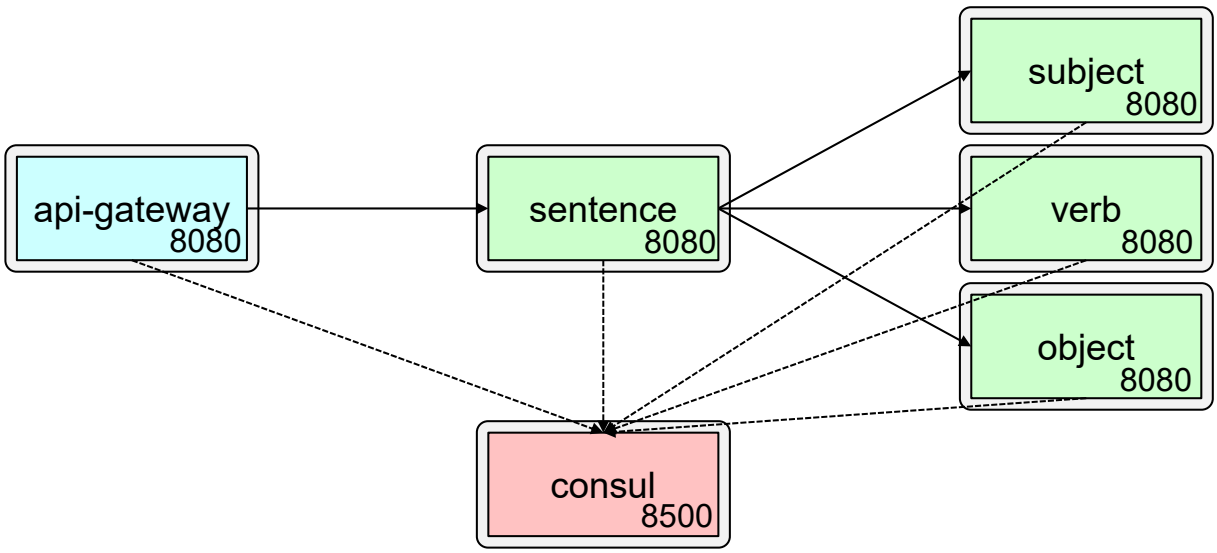
Applicazione di esempio

- Come applicazione di esempio, consideriamo di nuovo l’applicazione sentence per generare frasi in modo casuale – che è stata introdotta nella dispensa su Spring Cloud
  - consideriamo la versione basata sui servizi sentence e word (con istanze per subject, verb e object) e un API gateway api-gateway – nonché un servizio di discovery consul



* Composizione con Docker

- Le funzionalità di base di Docker consentono di gestire i casi di composizione più semplici – in cui ci sono diversi tipi di container (servizi), ciascuno con un numero prefissato di istanze
  - vediamo come realizzare l'applicazione sentence per generare frasi usando solo le funzionalità di base di Docker



Un'applicazione per frasi casuali

- Per realizzare l'applicazione per generare frasi casuali – con i servizi sentence, subject, verb, object, api-gateway e consul – possiamo utilizzare
  - immagini diverse per i servizi sentence, word e api-gateway
  - uno o più container per il servizio sentence – per affidabilità e scalabilità
  - uno o più container per ciascuno dei servizi subject, verb e object – tutti basati sull'immagine per il servizio word
  - un container per l'api-gateway e uno per consul – per Consul usiamo l'immagine hashicorp/consul disponibile su Docker Hub
  - il collegamento in rete tramite una rete definita dall'utente sentence-net
    - in particolare, questa rete consente ai diversi container di vedere il servizio consul su un nodo di nome consul
  - inoltre, la porta 8080 dell'api-gateway va esposta sull'host

Modifiche alle applicazioni

- Rispetto a quanto visto nella dispensa su Spring Cloud, bisogna modificare i servizi sentence, subject, verb, object e api-gateway come segue
  - non è necessario modificare in alcun modo il codice Java dei servizi sentence, word e api-gateway
  - la configurazione dei servizi sentence, word e api-gateway (file application.yml) va invece modificata come segue
    - server.port può valere 8080 per tutti i servizi – perché ogni servizio viene eseguito in modo isolato in un'istanza di container separata
    - spring.cloud.consul.host deve valere consul anziché localhost – così da puntare a consul:8500 e non più a localhost:8500 (la spiegazione è nella slide successiva)

Container e localhost

- spring.cloud.consul.host deve valere consul anziché localhost – così da puntare a consul:8500 e non più a localhost:8500
  - nella dispensa su Spring Cloud, Consul veniva eseguito in un container Docker, e la porta 8500 di questo container veniva pubblicata sulla porta 8500 dell'host
  - le applicazioni Spring venivano eseguite nello stesso host, e per quello potevano vedere Consul all'indirizzo localhost:8500
  - quando invece un'applicazione Spring viene eseguita in un container Docker, localhost indica il nodo in cui viene eseguita l'applicazione, e quindi il suo container Docker (e non più l'host)
  - Consul viene eseguito in un diverso container, che chiamiamo consul – e quindi può essere visto dagli altri container all'indirizzo consul:8500
  - si noti che per Consul non serve più pubblicare la porta 8500 sull'host, perché viene ora acceduto mediante la rete di Docker

Dockerfile

- Per ciascuno dei servizi bisogna definire un Dockerfile
  - come esempio, questo è il Dockerfile per il servizio sentence
  - l'applicazione Spring per il servizio sentence viene associata ad una porta nota (del container, non dell'host) – ad es., 8080

```
# Dockerfile per il servizio sentence

FROM eclipse-temurin:21-jdk

ADD build/libs/sentence.jar sentence.jar

EXPOSE 8080

ENTRYPOINT ["java", "-Xmx128m", "-Xms128m", "-jar", "sentence.jar"]

HEALTHCHECK --start-period=30s --interval=10s
            CMD curl -f http://localhost:8080/actuator/health || exit 1
```

  - i Dockerfile per gli altri servizi sono simili

Immagini dei container

- Questo è lo script di creazione delle immagini Docker per l'applicazione sentence

```
#!/bin/bash

docker build --rm -t sentence-sentence ./sentence-service
docker build --rm -t sentence-word ./word-service
docker build --rm -t sentence-apigateway ./api-gateway
```

Avvio dell'applicazione a container

- Questo è lo script per la creazione e l'avvio dell'applicazione

```
#!/bin/bash

docker network create sentence-net

docker run -d --network=sentence-net
           --name=consul docker.io/hashicorp/consul

docker run -d --network=sentence-net -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=subject
           --name=subject sentence-word
docker run -d --network=sentence-net -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=verb
           --name=verb sentence-word
docker run -d --network=sentence-net -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=object
           --name=object sentence-word

docker run -d --network=sentence-net --name=sentence-1 sentence-sentence
docker run -d --network=sentence-net --name=sentence-2 sentence-sentence

docker run -d --network=sentence-net -p 8080:8080
           --name=apigateway sentence-apigateway
```


Monitoraggio dell'applicazione

- Per conoscere lo stato dell'esecuzione di un'applicazione Spring in un container Docker è possibile usare il comando docker ps – in combinazione con l'istruzione HEALTHCHECK del Dockerfile
  - se lo stato di un container per un servizio è health: starting allora l'applicazione eseguita del container si sta avviando, ma non è ancora pronta
  - se invece lo stato di un container per un servizio è healthy allora l'applicazione eseguita del container è stata avviata ed è pronta a ricevere richieste
  - lo stato unhealthy indica invece un problema durante l'esecuzione dell'applicazione nel container

Salvataggio delle immagini su Docker Hub

- Opzionalmente, è possibile salvare le immagini dei container su Docker Hub, come segue
  - effettuare il login su Docker Hub, con il comando docker login
    - questa dispensa usa l'utente aswroma3 – ciascuno deve utilizzare il proprio account e le proprie credenziali
  - taggare le immagini con il nome del proprio account ed effettuare il push – ad es., mediante il seguente script

```
#!/bin/bash

docker tag sentence-sentence aswroma3/sentence-sentence:2025-10
docker tag sentence-word aswroma3/sentence-word:2025-10
docker tag sentence-apigateway aswroma3/sentence-apigateway:2025-10

docker push aswroma3/sentence-sentence:2025-10
docker push aswroma3/sentence-word:2025-10
docker push aswroma3/sentence-apigateway:2025-10
```


Avvio dell'applicazione da Docker Hub

- Questo è lo script per avviare l'applicazione da Docker Hub

```
#!/bin/bash

docker network create sentence-net

docker run -d --network=sentence-net
           --name=consul docker.io/hashicorp/consul

docker run -d --network=sentence-net -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=subject
           --name=subject aswroma3/sentence-word:2025-10
docker run -d --network=sentence-net -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=verb
           --name=verb aswroma3/sentence-word:2025-10
docker run -d --network=sentence-net -e SPRING_PROFILES_ACTIVE=object
           --name=object aswroma3/sentence-word:2025-10

docker run -d --network=sentence-net
           --name=sentence-1 aswroma3/sentence-sentence:2025-10
docker run -d --network=sentence-net
           --name=sentence-2 aswroma3/sentence-sentence:2025-10

docker run -d --network=sentence-net -p 8080:8080
           --name=apigateway aswroma3/sentence-apigateway:2025-10
```

Errori comuni

- Attenzione ad evitare i seguenti errori comuni
  - dopo aver modificato (il codice sorgente di) una delle applicazioni, ricordarsi (sempre!) di fare quanto segue
    - effettuare (o ripetere) la build (Java) delle applicazioni
    - effettuare (o ripetere) la build (Docker) delle immagini Docker
    - effettuare (o ripetere) il push su Docker Hub delle immagini Docker (se necessario)
    - effettuare (o ripetere) il pull da Docker Hub delle immagini Docker (se necessario)
    - se non si è cambiato il numero di versione delle immagini, potrebbe essere necessario anche rimuovere le immagini Docker precedenti dalla cache locale

* Composizione con Docker Compose

- *Docker Compose* è uno strumento per definire ed eseguire applicazioni Docker composte da più container
  - Docker Compose è basato sull'utilizzo di un file di configurazione docker-compose.yml per specificare i diversi servizi che compongono un'applicazione
  - inoltre, con Docker Compose (dalla versione v2) è possibile gestire tutti i container di un'intera applicazione mediante dei singoli comandi di tipo docker compose

Servizi

- In Docker Compose, un'applicazione è composta da uno o più elementi chiamati "servizi"
  - un *servizio* (in Docker Compose) corrisponde intuitivamente a un container dedicato all'esecuzione di un servizio applicativo – ad es., un microservizio in un'applicazione a microservizi
  - per ciascun servizio, nel file docker-compose.yml vanno specificati
    - l'immagine per il container – il suo contesto Docker e/o il nome della sua immagine di container (su Docker Hub)
    - il comando da eseguire nel container (se diverso da quello di default)
    - ulteriori informazioni e vincoli aggiuntivi

Esempio

- Ecco la struttura (parziale) delle cartelle per l'applicazione di esempio sentence per generare frasi in modo casuale

```
|
+--- docker-compose.yml
+--- api-gateway/
|    +--- Dockerfile
|    +--- build.gradle
|    +--- src/
|    |    +--- ...
|    \--- build/
|         +--- ...
+--- sentence-service/
|    +--- ...
+--- word-service/
     +--- ...
```

  - rispetto a quanto visto nel precedente esempio sulla composizione con Docker, non è necessario modificare in alcun modo i servizi sentence, word e api-gateway – né il codice Java né la loro configurazione né i Dockerfile

Esempio

- Ecco il file docker-compose.yml per l'applicazione di esempio sentence per generare frasi in modo casuale

```
name: sentence

services:
  consul:
    image: docker.io/hashicorp/consul

  subject:
    build: ./word-service
    image: aswroma3/sentence-word:2025-10-compose
    environment:
      - SPRING_PROFILES_ACTIVE=subject
    depends_on:
      - "consul"

  verb: ... simile a subject ...

  object: ... simile a subject ...

  ... segue ...
```


Esempio

- Ecco il file docker-compose.yml per l'applicazione di esempio sentence per generare frasi in modo casuale

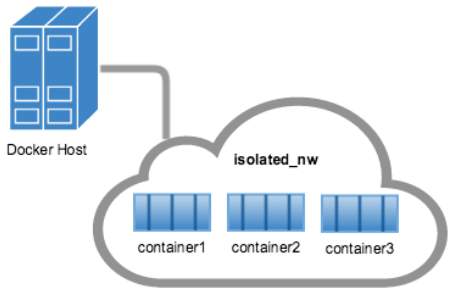
```
  sentence:
    build: ./sentence-service
    image: aswroma3/sentence-sentence:2025-10-compose
    depends_on:
      - "consul"

  apigateway:
    build: ./api-gateway
    image: aswroma3/sentence-apigateway:2025-10-compose
    ports:
      - "8080:8080"
    depends_on:
      - "consul"
```

Composizione con Docker Compose

- Con Docker Compose, è possibile gestire tutti i container di un'intera applicazione mediante singoli comandi docker compose
  - le immagini per i container dell'applicazione si possono costruire con il seguente singolo comando
    - docker compose build
  - se necessario, le immagini dei container possono essere salvate su Docker Hub con il seguente comando (dopo il login)
    - docker compose push
  - l'applicazione può essere avviata (creando e avviando tutti i suoi container) con il comando
    - docker compose up
  - si possono scalare uno o più servizi con il comando
    - docker compose up --scale subject=2 --scale object=2
  - infine, l'applicazione può essere arrestata con il comando
    - docker compose down

Ulteriori osservazioni

- Alcune ulteriori osservazioni su Docker Compose
  - Docker Compose definisce automaticamente una rete dedicata all'applicazione – tutti i suoi servizi/container sono collegati a questa rete, e possono comunicare tramite il loro nome



  - è anche possibile definire altre reti e topologie di rete complesse
  - in questo modo, un host Docker può ospitare più ambienti isolati, ciascuno dedicato a una diversa applicazione
    - è anche possibile avere più copie di una stessa applicazione (in ambienti separati e isolati)

Ulteriori osservazioni

- Alcune ulteriori osservazioni su Docker Compose
  - Docker Compose supporta anche la gestione di volumi
  - l'operazione di build evita di ripetere la creazione di immagini già create e aggiornate
  - l'operazione di push di immagini in un registry è molto importante anche nell'orchestrazione di container (discussa in una successiva dispensa) – in cui è necessario che le immagini Docker di interesse siano accessibili da un registry
  - consente di scalare i servizi di un'applicazione
  - consente anche di definire più configurazioni di una stessa applicazione – mediante meccanismi di estensione dei file di configurazione e l'uso di variabili
  - Docker Compose può essere usato soprattutto per sostenere lo sviluppo e il test di applicazioni multi-servizi – nel computer dello sviluppatore o in un server CI

* Discussione

- Abbiamo illustrato l'uso dei container Docker per l'esecuzione di applicazioni Spring Boot
  - abbiamo iniziato mostrando come eseguire una semplice applicazione web, utilizzando un singolo container
  - abbiamo poi discusso la composizione di container, mostrando come eseguire un'applicazione composta da più servizi, mediante più container

Discussione

- La composizione di container riguarda la definizione e l'esecuzione di applicazioni multi-servizi e multi-container
  - la composizione di container Docker può essere realizzata in modo semplice ed efficace mediante Docker Compose
- La composizione di container effettuata in questo modo è utile soprattutto nell'ambiente di sviluppo, e per eseguire dei test di integrazione nell'ambiente di sviluppo
  - per eseguire un'applicazione multi-servizi e multi-container in produzione è invece preferibile utilizzare l'orchestrazione di container (discussa in un successivo capitolo ed esemplificato in una successiva dispensa)
  - in effetti, anche in quest'ultimo caso, Docker Compose è comunque utile, per semplificare alcune attività preliminari all'orchestrazione di container – in particolare, la build e il push delle immagini Docker per l'applicazione di interesse