



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

La mia tesi ...

Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, Informatica e Statistica

Tirocinio Formativo Attivo

Classe Corso di laurea in Informatica

Candidato

Alessio Luciani

Matricola 1797637

Relatore

Emanuele Panizzi

Tutor del Tirocinante

Tutor Coordinatore

Anno Accademico 2019/2020

Tirocinio svolto presso:

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma

<https://www.sapienzaapps.it/>

Dirigente scolastico:

Tesi non ancora discussa

La mia tesi ...

TFA. Relazione di tirocinio. Sapienza – Università di Roma

© 2020 Alessio Luciani. Tutti i diritti riservati

Questa tesi è stata composta con \LaTeX e la classe Sapthesis.

Email dell'autore: alessio99.luciani@gmail.com

Alla mia famiglia

Indice

1	Introduzione	1
2	Raccolta dati dei parcheggi	3
2.1	Procedura generale	3
2.1.1	Raccolta	3
2.1.2	Pulitura e processamento	4
2.2	Sensori utilizzati	5
2.2.1	Implementazione su iOS	5
2.3	Caricamento dati nel database	7
2.4	Preparazione dei dati	7
2.5	Modelli ML utilizzati	8
3	Contributo dell'utente	9
3.1	Notifica mostrata	9
3.1.1	Registrazione della notifica	9
3.1.2	Esposizione della notifica	10
3.2	Etichetta selezionata dall'utente	10
3.2.1	Ricezione della risposta	10
4	Deploy dei modelli ML	11
4.1	Necessità del calcolo in locale	12
4.1.1	Predizione in locale con CoreML	13
4.2	Porting del processore di dati	14
4.2.1	Da Python a Swift	14
4.2.2	Corrispondenza tra le due versioni	16
4.3	Adattamento all'ambiente mobile (iOS)	16
4.3.1	Modifica della sintassi	17
4.3.2	Dichiarazione delle variabili	17
4.3.3	Aggiunta di tipi espliciti	17
4.3.4	Mappatura delle strutture dati	17
4.3.5	Adattamento del passaggio di argomenti	18
4.3.6	Gestione dei tipi opzionali	19
4.3.7	Sostituzione delle librerie	19
4.4	Esecuzione delle predizioni	20
4.4.1	Inserimento del modello nell'app	20

5	Rappresentazione dei parcheggi sulla mappa	21
5.1	Recupero dei parcheggi nella zona visualizzata	21
5.2	Disegno dei parcheggi sulla mappa	21
5.3	Informazione sul tipo di parcheggio	21
5.4	Informazione sull'orientamento del parcheggio	22
5.5	Beneficio dell'utente	22

Capitolo 1

Introduzione

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Capitolo 2

Raccolta dati dei parcheggi

2.1 Procedura generale

2.1.1 Raccolta

Al fine di poter creare un classificatore per i tipi di parcheggio, la prima cosa che è risultata necessaria è stata una raccolta di dati di natura time-series. In particolare, questi dati dovevano essere di buona qualità, generati in maniera controllata e avere una chiara classificazione che gli permetta di essere utilizzabili per un processo di training. Per questo motivo è stato importante che la raccolta fosse portata avanti da poche persone fidate che fossero in grado di eseguire una serie di azioni commettendo il minor numero di errori possibile. Dal momento che il modello classificatore in questione è destinato ad essere utilizzato su applicativi mobile, e più in particolare sull'app GeneroCity, i dati che quest'ultimo riceve come input devono provenire da sensori che si trovano direttamente sullo smartphone. Così facendo, la modalità più ovvia di raccolta dei dati risulta essere esattamente quella di sfruttare gli stessi sensori dello smartphone.

Coloro che hanno avuto il compito di raccogliere i dati, erano disposti di un sistema di raccoglimento installato all'interno dell'app GeneroCity. Inizialmente, questo era presente solo nella versione iOS dell'app, ma successivamente, è stato fatto il porting anche sulla versione Android. Questa operazione ha reso possibile che il numero di persone disponibili per la raccolta di dati aumentasse significativamente.

Sfruttando alcuni eventi generati automaticamente dall'app, come ad esempio l'ingresso e l'uscita dall'auto, è stato possibile avviare e interrompere la raccolta, senza troppa pressione o attenzione dell'utente. Quindi l'interazione da parte dell'utente, durante il percorso in auto, è stata minima, se non inesistente. Il processo prevedeva soltanto che l'utente entrasse in macchina, facesse il suo viaggio e infine uscisse. Nel frattempo l'app si occupava di raccogliere i dati e caricarli su un database in automatico. In questo modo, non solo le persone addette alla raccolta non hanno dovuto avere troppe accortezze, ma inoltre hanno potuto integrare la raccolta con le loro abitudini quotidiane, senza dover dedicare tempo e sforzi extra solamente per questo scopo. Infatti, qualvolta

essi hanno utilizzato l'auto nella loro vita quotidiana, hanno potuto aggiungere una, o più registrazioni al database.

Anche per quanto riguarda la classificazione del tipo di parcheggio, si è cercato un approccio che semplificasse l'operazione a chi la stava eseguendo. La modalità che è sembrata meno invasiva è stata quella di inviare una notifica a colui che avesse appena effettuato un parcheggio, chiedendo di cliccare su un pulsante che classificasse il tipo di parcheggio, distinguendo qualche opzione. Questa informazione veniva poi salvata insieme alla registrazione dei sensori, all'interno del database. Si può notare che, anche in questo caso, l'interazione dell'utente è stata minima. Infatti, la notifica veniva mostrata ad esso in maniera automatica, dopo qualche secondo dall'uscita dalla macchina e chiaramente l'utente stesso aveva la possibilità di effettuare la scelta del tipo di parcheggio in un secondo momento.

L'importanza di affidare questa responsabilità ad utenti fidati è dovuta principalmente al fatto che selezionare il corretto tipo di parcheggio risulta un'operazione cruciale al fine di ottenere un modello accurato, che sia in grado di effettuare una distinzione chiara tra le diverse tipologie di parcheggio. Un'utente qualsiasi, invece, potrebbe selezionare un'etichetta errata per svariati motivi, come un'idea confusa riguardo le diverse tipologie di parcheggi, oppure una scarsa volontà di collaborazione che potrebbe indurlo a selezionare un tipo randomico. Si può ben intuire che la selezione di un tipo randomico, tra le varie opzioni proposte, da' un contributo deleterio e quindi peggiore al caso in cui l'utente non rispondesse proprio alla notifica inviata e quindi non selezionasse alcun tipo per uno specifico parcheggio. Tuttavia, anche quando ad effettuare l'operazione vi è una persona che ha ben chiaro come comportarsi, è possibile che degli errori vengano commessi. Infatti, in alcune situazioni possono sollevarsi diversi dubbi o indecisioni. Potrebbe accadere che un parcheggio abbia una disposizione inusuale, diversa dalle più comuni e quindi particolarmente complicata da individuare. Oppure, è possibile che un parcheggio venga effettuato con una manovra molto diversa dalle più frequenti, per motivi che possono essere dovuti alla condizione del traffico, alla disposizione di altri veicoli circostanti, allo stile di guida o all'urgenza del guidatore, ecc. A causa di questi motivi, il dataset ottenuto non può essere considerato privo di difetti, ma si è cercato, attraverso queste accortezze, di ottenere una qualità dei dati migliore possibile.

2.1.2 Pulitura e processamento

Benchè i dati raccolti si trovassero in buono stato e strutturati in maniera adeguata per essere utilizzati con lo scopo di effettuare il training per un modello ML che classificasse i tipi di parcheggio, essi non potevano essere considerati "puliti" e pronti all'utilizzo. Tra le diverse cose, essi contenevano informazioni aggiuntive e fuorvianti che avrebbero peggiorato le performance del classificatore. Un esempio è composto da tutti i dati raccolti dal momento in cui il parcheggio viene terminato, fino a quando l'app non termina la raccolta, dopo che l'utente è uscito dall'auto.

Adizionalmente alla pulitura iniziale, i dati vanno incontro anche ad un intensa sequenza di operazioni che cercano di esaltare e isolare le feature più significative che possono essere analizzate dal classificatore. Una delle operazioni che può essere presa come esempio consiste nelle rotazioni 3D che vengono applicate ai dati degli accelerometri e dei giroscopi per fare in modo che questi ultimi risultino come se fossero stati raccolti con lo smartphone orientato sempre allo stesso modo rispetto all'auto.

Dunque, è stato realizzato uno script in grado di scaricare tutti le registrazioni di dati presenti nel database e applicarvi queste operazioni per ottenere il risultato finale. Al termine di ciò i dati sono stati organizzati in un formato accettato in input dal modello classificatore.

2.2 Sensori utilizzati

Come già anticipato, la procedura di raccolta dei dati è avvenuta all'interno dell'app GeneroCity, su entrambi i sistemi operativi iOS e Android. L'idea di base è stata quella di utilizzare un oggetto raccoglitore che venisse richiamato in maniera asincrona, all'interno di un thread dedicato. Il fatto di utilizzare un thread a parte ha reso possibile un campionamento con cadenza fissa che non creasse interruzioni al resto dell'app.

Sono stati scelti alcuni sensori, i quali dati sarebbero stati utili per l'estrazione di feature da inviare come input al classificatore. Questi sensori sono principalmente:

- bussola
- accelerometri
- giroscopi
- GPS per la velocità

Con una certa cadenza, il raccoglitore registra i vari valori e li indicizza attraverso il timestamp dello specifico istante. Questa indicizzazione fa in modo che i dati possano avere l'informazione sulla sequenza temporale delle varie registrazioni e quindi possono essere trattati come dati di tipo time-series.

2.2.1 Implementazione su iOS

La prima implementazione del raccoglitore è stata fatta per l'ambiente iOS. È stata definita una classe *ParkTypeSampleCollector*, da cui poter creare istanze di raccoglitori. All'interno dell'app, un raccoglitore viene attribuito ad un'auto *Car*, in quanto ha lo scopo di raccogliere i dati durante i tragitti percorsi da quella determinata macchina.

Al *ParkTypeSampleCollector* è stata impostata una cadenza costante di 0.1 secondi, in modo da avere un tasso di campionamento abbastanza elevato, in grado di distinguere piccole variazioni in campioni consecutivi.

Per i singoli campioni è stata definita una struttura *Sample*, contenente una serie di valori:

- *heading*: consiste nell'angolo tra la punta dello smartphone e il nord geografico, rappresentato in gradi.
- *acceleration*: contiene i tre componenti dell'accelerazione ottenuti attraverso gli accelerometri e processati direttamente dalla libreria *CoreMotion*. Questo significa che i tre componenti relativi ai tre assi non contengono più l'informazione sulla gravità, questa è stata sottratta automaticamente.
- *rotationRate*: similmente, contiene i tre componenti estratti dai giroscopi e adeguatamente processati.
- *speed*: consiste nell'attuale velocità calcolata dal dispositivo ed ottenuta grazie alla libreria *CoreLocation*.

Il *ParkTypeSampleCollector* è dotato di un buffer di *Sample* di dimensione fissa. Questo buffer è utilizzato per salvare la sequenza di campioni che vengono raccolti durante il tragitto. In quanto l'obiettivo finale è quello di utilizzare i dati per classificare il tipo di un parcheggio, è necessario salvare soltanto i campioni che sono stati raccolti in momenti temporalmente vicini al termine del parcheggio. Chiaramente non si può sapere a priori quanto tempo impiegherà l'utente a parcheggiare, così la raccolta viene avviata alla partenza dell'auto. Nonostante questo, per evitare di occupare grandi quantità di memoria con dati che alla fine verranno eliminati, si è pensato di aggiungere campioni al buffer, fino al suo riempimento, e successivamente aggiungere un potenziale nuovo campione rimpiazzando il meno recente presente nel buffer. Questa operazione è stata implementata in tempo costante, grazie ad un indice utilizzato in aggiunta. Dal momento che non vengono salvati i timestamp "reali" relativi ai singoli campioni, dei timestamp verranno calcolati dinamicamente al termine utilizzando gli indici del buffer e l'intervallo di campionamento. La dimensione che è stata scelta per il buffer è di 2048 elementi, che si traducono in una registrazione finale che coprirà un intervallo di tempo che dura al massimo qualche minuto.

Il raccoglitore viene azionato ogni volta che passa la quantità di tempo relativo all'intervallo di campionamento. Ovvero, all'avvio di esso, ha inizio un ciclo che termina solamente quando l'auto è stata parcheggiata. Ad ogni iterazione viene aggiunto un nuovo campione al buffer e poi viene effettuata un'attesa, prima che si passi all'iterazione successiva. L'intero ciclo viene eseguito asincronamente utilizzando la chiamata *DispatchQueue.global().async*, fornita da iOS. Ciò che fa questa funzione è accodare una funzione, fornita dallo sviluppatore, alla coda di esecuzione globale del sistema operativo, in maniera asincrona.

L'avvio e la terminazione del raccoglitore vengono eseguiti rispettivamente nei metodi *unpark()* e *park()* dell'istanza di *Car*. Quindi, quando l'auto esce dal parcheggio all'inizio del tragitto e quando parcheggia al termine di esso.

2.3 Caricamento dati nel database

Al termine di ogni registrazione, i dati raccolti devono essere caricati nel database. Come formato di salvataggio delle registrazioni è stato scelto JSON. Quindi, non appena il raccoglitore termina la raccolta, il buffer ottenuto deve essere convertito in un oggetto JSON. In particolare, questo avviene ponendo, come chiavi dell'oggetto, i timestamp calcolati rispetto al primo elemento. Ad ogni chiave viene associato un'array di valori, che contiene tutti i dati ottenuti dal campione di quello specifico istante. Così l'array è composto da:

- *heading*
- I tre componenti singoli ottenuti da *acceleration*
- I tre componenti singoli ottenuti da *rotationRate*
- *speed*

Siccome GeneroCity già effettuava una chiamata all'API del backend per registrare dei dati relativi al parcheggio che è stato appena effettuato, è stato deciso di sfruttare quest'ultima anche per caricare l'oggetto JSON che contiene i campioni. Così è stato creato un nuovo campo nel database, relativo al parcheggio e chiamato *parksamples*. All'interno di questo campo viene salvata la stringa serializzata, ottenuta dall'oggetto JSON.

2.4 Preparazione dei dati

Dal momento che i dati sono stati raccolti quotidianamente, il dataset delle registrazioni si è andato a popolare di giorno in giorno. In questo modo, è stato possibile effettuare il training del modello classificatore di tanto in tanto, al fine di migliorarne le performance sempre di più, avendo a disposizione più registrazioni. Per automatizzare il processo di preparazione dei dati, è stato creato uno script, composto da moduli, in Python. Come precedentemente anticipato, la funzione principale dello script è stata quella di scaricare, pulire e processare i dati ottenuti. Infatti, ad ogni invocazione esso

1. richiede al database e scarica tutte le registrazioni che ancora non sono state salvate in locale;
2. effettua tutte le procedure di pulitura e processamento dei dati;
3. prepara i dati per essere utilizzati come input del classificatore e crea una struttura di file CSV, con directory classificate in base all'etichetta scelta dall'utente per la registrazione;

Inoltre, insieme allo script è presente un modulo che ha lo scopo di effettuare il plotting dei dati. Questo plotter è utilizzato per analizzare i dati in maniera visiva ed è in grado di mostrare i valori uscenti dai vari sensori in diverse modalità e quindi evidenziando diversi aspetti di essi. Ad esempio, è possibile

tracciare valori provenienti da un componente dell'accelerazione nel tempo, sotto forma di una curva 2D, ma anche i punti (formati da tutti i tre componenti) dell'accelerazione stessa, rappresentati in uno spazio 3D.

2.5 Modelli ML utilizzati

Avendo i dati pronti e nel giusto formato, il passo successivo è quello di effettuare il training di un modello classificatore.

Per creare i modelli è stato deciso di utilizzare la libreria *CreateML* di Apple. Questa libreria ha modo di realizzare nuovi modelli di machine learning con una prospettiva ad alto livello, permettendo l'utilizzo anche ad utenti che non sono dotati di una conoscenza molto approfondita a riguardo. Essa offre anche un'interfaccia grafica che rende la creazione ancora più intuitiva.

Al fine di ottenere un classificatore per tipi di parcheggio, sono stati utilizzati due approcci diversi, a partire da due template differenti di *CreateML*:

- una rete neurale convoluzionale, utilizzando il *Motion Activity Classifier*;
- un tree ensemble, utilizzando il *Tabular Classifier*

Il motivo per cui sono stati creati due modelli differenti è che il dataset che è stato possibile ottenere con un numero molto limitato di utenti disponibili per la raccolta di dati, non è composto da un numero di registrazioni sufficientemente grande. Per questa motivazione, alcuni tipi di modelli hanno ottenuto scarsi risultati nella classificazione e si è preferito tentare in diversi modi.

Capitolo 3

Contributo dell'utente

Come è stato già discusso, nell'ambito della raccolta dei dati il contributo dell'utente è essenziale. Infatti, è bene che quest'ultimo sia veritiero e che esso venga fornito per il maggior numero di registrazioni possibile. Per agevolare l'utente nel dare il contributo è stato necessario creare un'interazione semplice e che non richiedesse procedure troppo sofisticate.

Dato che l'informazione che deve essere fornita dall'utente è una etichetta che classifichi il tipo di parcheggio appena effettuato, è stato deciso di mostrare una notifica di sistema che proponesse questa scelta. Questa notifica viene chiaramente manifestata dal sistema sotto forma di notifica locale di GeneroCity e da modo di selezionare il tipo di parcheggio effettuato.

3.1 Notifica mostrata

Su piattaforma iOS, è stata scelta la notifica di tipo *Actionable Notification*. Le notifiche di questa tipologia permettono di aggiungere, oltre a del testo, un gruppo di pulsanti, corrispondenti a delle azioni. Questa è risultata una soluzione ottima per il nostro scopo. È stato potuto aggiungere del testo che chiedesse "In che modo hai parcheggiato?" e allegare dei pulsanti con le opzioni "A spina", "Parallelo", "A pettine". In questo modo, all'utente resta solo da rispondere alla notifica selezionando una opzione tra quelle disponibili.

3.1.1 Registrazione della notifica

Per creare la nuova notifica, la prima cosa che è stato necessario fare è stata registrarla nel sistema, attraverso l'app. Dato che si tratta di una *Actionable Notification*, è stata registrata una *UNNotificationCategory* e delle *UNNotificationAction* legate ad essa. Queste classi provengono tutte dalla libreria *UserNotifications*. La categoria è necessaria per distinguere una *Actionable Notification* di un tipo da una di un altro. Quindi, è stata creata una nuova categoria chiamata *PARKTYPE*, utilizzata esclusivamente per questa notifica. A questa categoria sono state legate le varie azioni, che corrispondono ai tipi di parcheggio. Anche esse sono dotate di un identificatore che è utilizzato

al momento della ricezione, per distinguerle tra tutte le azioni che l'app può ricevere.

3.1.2 Esposizione della notifica

Ogni volta che una nuova registrazione termina, viene creata e mostrata una nuova notifica con categoria *PARKTYPE*. Per fare ciò, viene creato un *UNTimeIntervalNotificationTrigger* con un ritardo di 5 secondi. Questo significa che la notifica verrà effettivamente mostrata all'utente 5 secondi dopo che GeneroCity abbia rilevato il parcheggio effettuato dall'utente. In questo modo, esso può rispondere alla notifica quando effettivamente è a conoscenza del tipo di parcheggio appena fatto e inoltre si è sicuri che non sia più alla guida e quindi non corra rischi perdendo l'attenzione.

3.2 Etichetta selezionata dall'utente

Nel momento in cui l'utente riceve la notifica, esso può rispondere scegliendo un'opzione, oppure ignorarla completamente. Nel caso in cui la notifica viene ignorata, semplicemente non accade nulla, ovvero, l'etichetta del tipo di parcheggio non viene caricata sul database. Invece, in caso contrario, è necessario aggiornare il valore nel database per legare l'etichetta appena ottenuta attraverso l'utente, al relativo parcheggio.

3.2.1 Ricezione della risposta

Attraverso il *UNUserNotificationCenterDelegate*, si possono registrare callback da eseguire in seguito ad alcuni eventi generati dal sistema, che riguardano le notifiche. Uno di questi eventi è la ricezione di una risposta. Questa callback viene invocata quando l'utente clicca su un pulsante azione di una qualsiasi notifica legata all'app. Questo significa che è compito dello sviluppatore individuare quale azione è stata eseguita dall'utente, all'interno della callback. Ciò viene fatto attraverso gli identificatori delle *UNNotificationAction*. Una volta che è stata identificata l'azione scelta, è possibile capire qual'è il tipo di parcheggio effettuato dall'utente e salvarlo all'interno dell'oggetto *Car*. Per terminare, viene effettuata una chiamata all'API del backend, che aggiorni i dati del parcheggio relativo all'auto corrente nel database.

Capitolo 4

Deploy dei modelli ML

Una volta che è stato effettuato correttamente il training e la creazione di un modello machine learning, arriva il momento di distribuirlo e di utilizzarlo effettivamente per il suo scopo, ovvero quello di classificatore di tipi di parcheggio.

L'idea generale del funzionamento consiste nel raccogliere dati durante il tragitto dell'auto e in seguito fornirli come input al modello. Chiaramente, i dati che il modello prodotto riceve in input devono essere della stessa forma di quelli utilizzati per fare il training. Ciò implica che tutte le procedure di pulizia dei dati e di miglioramento delle feature debbano essere ripetute ogni volta che nuovi dati vengono raccolti per essere sottoposti al modello ed essere classificati.

Garantire che un modello riceva in input dati di forma e qualità identiche a quelle del dataset di training può talvolta risultare laborioso. Ciò è causato dal fatto che gli ambienti di raccolta dati e quelli di produzione possono differire sotto svariati aspetti. Infatti, non è scontato che in queste due situazioni si utilizzino lo stesso linguaggio di programmazione, lo stesso sistema operativo, le stesse librerie, gli stessi approcci, ecc. Al contrario, è molto probabile che un modello venga istruito una volta, per poi essere distribuito ed utilizzato su piattaforme diverse. In queste situazioni si può andare incontro a numerose complicazioni, come dover ri-progettare alcuni algoritmi a causa di un cambiamento di linguaggio di programmazione, che renderebbe l'algoritmo stesso meno efficiente o addirittura non più funzionante. In questo caso, è fondamentale avere una conoscenza approfondita del funzionamento dell'algoritmo originale e della buona documentazione da poter consultare. Qualsiasi minimo errore di trascrizione o di comprensione potrebbe generare modifiche sostanziali ai dati che verranno processati, rendendoli così differenti da quelli provenienti dal training set e non più validi per una potenziale classificazione. Spesso si può anche andare incontro ad un cambiamento di librerie, soprattutto se si sta cambiando linguaggio di programmazione. La questione che riguarda le librerie è ancora più delicata rispetto a quella dei linguaggi. Nella maggior parte dei casi, esse contengono delle logiche interne che risultano molto complesse da riprodurre o imitare in un ambiente differente. Per questo motivo, è bene ridur-

re al minimo l'utilizzo di librerie esterne quando ci si trova in situazioni come questa, ovvero scrivendo codice che dovrà essere portato su altre piattaforme. Tuttavia, a volte è necessario utilizzare alcune librerie, come nel nostro caso, in cui si sono dovute utilizzare librerie per l'algebra lineare. Quindi, anche per questo discorso occorre avere massima prudenza nella scelta di un sostituto valido e che non generi inconsistenze nei dati.

4.1 Necessità del calcolo in locale

Per quanto riguarda il deploy di un modello, un'altra scelta da prendere è se eseguire il modello in un applicativo lato client, oppure su un server remoto. Questa decisione dipende da molti fattori, tra i quali vi è la potenza di calcolo del dispositivo che esegue l'applicativo client, potenziali requisiti di esecuzione real-time (con bassa latenza), disponibilità del dispositivo di una connessione ad internet, sensibilità dei dati, ecc.

Entrambi gli approcci hanno vantaggi e svantaggi. Tra i vantaggi di una esecuzione lato server possiamo notare:

- la possibilità di sostituire il modello con una versione più aggiornata senza dover per forza rilasciare un nuovo aggiornamento dell'applicativo client
- poter effettuare l'esecuzione di un modello al posto di un dispositivo con scarsa potenza di calcolo (es. un dispositivo embedded)

Invece tra quelli di una esecuzione lato client:

- non dover dipendere da un server remoto, quindi da una connessione stabile
- evitare di dover attendere una risposta dal server, che può impiegare molto più tempo che una esecuzione in locale (nel caso in cui la potenza di calcolo del dispositivo sia sufficiente)
- mantenere privati i dati che sono utilizzati come input del modello (nel caso in cui i dati siano sensibili)

Nel caso del nostro modello, è stato deciso di eseguire la predizione del modello in locale, nel lato client dell'app GeneroCity. Questa scelta è stata presa principalmente per due motivi:

- in prospettiva di un utilizzo dell'app da parte di numerosi utenti, evitare che il server backend venga sottoposto a un carico troppo oneroso, causato dalla potenziale esecuzione di un numero molto elevato di classificazioni in parallelo;
- sfruttare il *Neural Engine* dei dispositivi Apple, attraverso la libreria *CoreML* (solamente per la versione iOS di GeneroCity);

Dal momento che il processo di classificazione, attraverso un modello, è abbastanza intensivo e inoltre richiede la pulitura dei dati preliminare, permettere che venga eseguito su un server potrebbe generare rallentamenti. Questo si verifica soprattutto se il programma backend non è distribuito. Oltre a ciò, vi è il fatto che l'esecuzione del modello avviene in seguito ad un'azione dell'utente (ovvero al parcheggio dell'auto) e nel caso in cui ci fossero degli utenti malintenzionati, si correrebbe il rischio di ricevere troppe richieste allo stesso tempo.

4.1.1 Predizione in locale con CoreML

Dovendo effettuare la classificazione in locale, su piattaforma iOS, la libreria che è risultata più adatta ai nostri scopi è stata *CoreML*. Questa libreria dà la possibilità di integrare modelli machine learning direttamente all'interno delle app. Oltre a fornire dei modelli già addestrati e pronti all'uso (tra cui uno per il riconoscimento di immagini, un altro per la trascrizione audio-testo, ecc.), essa offre dei modi per utilizzare modelli creati direttamente dallo sviluppatore. Innanzitutto, *CoreML* richiede che i modelli proposti dallo sviluppatore siano del formato proprietario ".mlmodel". Questo formato, infatti, è stato creato proprio da Apple. Ci sono principalmente due modi per ottenere un modello di questa tipologia:

- crearlo direttamente attraverso la libreria *CreateML*;
- convertirne uno di un altro formato (es. TensorFlow) attraverso un apposito strumento di conversione;

Siccome per iniziare è stato integrato il modello soltanto nella versione iOS dell'app, è stata scelta la prima strada, ovvero generarlo con *CreateML*. In questo modo non è stato necessario utilizzare strumenti più personalizzabili, ma molto più complessi e a basso livello, come TensorFlow.

La scelta di *CoreML* è stata ovvia, in quanto su iOS è l'unica libreria che permette di sfruttare al meglio l'hardware del dispositivo. Infatti, essa è stata progettata proprio per essere utilizzata in accoppiata con l'hardware GPU presente negli stessi dispositivi Apple. Inoltre, nei dispositivi delle generazioni più recenti è stato inserito un componente dedicato esclusivamente all'esecuzione di algoritmi di intelligenza artificiale e modelli ML, chiamato *Neural Engine*. Esso si tratta di una sezione della GPU che è provvista di una architettura ad hoc e che viene sfruttata quando vengono invocate delle predizioni attraverso *CoreML*. Questa sezione è stata aggiunta a causa di una presenza del machine learning all'interno delle app che è aumentata drasticamente negli ultimi anni e che con ogni probabilità continuerà a diffondersi. Grazie a questo componente, l'esecuzione di una predizione di machine learning (es. la classificazione del tipo di parcheggio) non va ad influire sulle performance del sistema (sul resto dell'hardware) e quindi non crea rallentamenti o problemi visibili dall'utente. Avendo deciso di eseguire il modello in locale, diventa obbligatorio effettuare anche le fasi preliminari di preparazione dei dati in locale. Quindi, l'intera

procedura, che va dal parcheggio dell'auto fino alla predizione del tipo di parcheggio, viene eseguita all'interno dell'app iOS, senza alcun sostegno di servizi esterni.

4.2 Porting del processore di dati

Come già anticipato, la scelta di eseguire la classificazione del tipo di parcheggio in locale nell'applicazione implica delle conseguenze. Una delle più importanti tra queste è certamente il fatto di dover pulire e preparare i dati direttamente in ambiente iOS. Ciò ha reso obbligato un porting dello script dedicato a processare i dati delle registrazioni, che è scritto in Python. Il linguaggio di destinazione del porting è Swift, ovvero il linguaggio utilizzato per sviluppo di GeneroCity iOS.

4.2.1 Da Python a Swift

Python e Swift differiscono sotto molti aspetti: oltre ad avere una sintassi significativamente diversa, sono stati progettati per scopi abbastanza differenti e i loro ambienti di esecuzione non hanno molti fattori in comune. Mentre Python è pensato per essere utilizzato su una vasta varietà di sistemi operativi e architetture, offrendo un interprete con ampia compatibilità, Swift ha una target più ristretto, che mira principalmente ai dispositivi con sistemi operativi Apple. Tuttavia, la differenza maggiore sta nel fatto che Python si tratta di un linguaggio interpretato, mentre Swift è un linguaggio compilato. Il secondo, quindi, ha bisogno di un compilatore apposito che generi i binari che infine vengono eseguiti.

Essendo due linguaggi molto utilizzati e con un background notevole, entrambi sono dotati di un solida fornitura di librerie. Infatti, considerando sia librerie native, che librerie di terze parti, Python e Swift possono essere sfruttati in moltissimi ambiti. Per quanto riguarda il nostro obiettivo, è stato necessario utilizzare operazioni di algebra lineare e fortunatamente entrambi i linguaggi sono muniti di librerie mature abbastanza da permettere di svolgere tali operazioni in maniera sufficientemente intuitiva.

Ad ogni modo, la trascrizione del codice stesso non è stata affatto priva di complicazioni. Sono state notate numerose differenze tra i linguaggi, che hanno reso il porting una operazione tutt'altro che lineare:

- **strutture sintattiche:** i due linguaggi differiscono alla base, nel modo di gestire gli scope dei blocchi di codice (python utilizza l'indentazione, mentre Swift utilizza uno stile a parentesi graffe C-like) e in molte strutture, come le dichiarazioni di cicli, esecuzioni condizionali, operatori booleani, ecc.
- **presenza di variabili e costanti:** Swift necessita che venga specificata l'entità di una variabile (se si tratta di una variabile o di una costante) al momento della sua dichiarazione, mentre in Python sono già tutte

semplici variabili di default. Inoltre Swift permette di aggiungere molte altre keyword (es. modificatori di accesso) alle dichiarazioni di variabili, in modo modificare le loro proprietà.

- **tipizzazione:** mentre Python appartiene al gruppo di linguaggi tipizzati dinamicamente (ovvero, che permettono ad una stessa variabile di assumere tipi diversi all'interno dello stesso scope di esecuzione), Swift è tipizzato staticamente (cioè, non permette che una variabile cambi il proprio tipo, nello stesso scope, durante una esecuzione). Questo implica anche che in molti contesti, in Swift, bisogna esplicitamente definire il tipo richiesto (ad esempio nella dichiarazione dei parametri e del valore di ritorno di una funzione), a differenza di Python, in cui il tipo non viene mai definito.
- **strutture dati:** non è immediato riportare molte strutture ad alto livello che si trovano su Python (es. la *List*) su un linguaggio come Swift. Spesso è necessario avere delle accortezze maggiori per gestire dei dati ad un livello leggermente più basso rispetto a come venivano gestiti su Python. Inoltre, il formato JSON che nel nostro script è stato ampiamente utilizzato, viene mappato direttamente a strutture dati Python, mentre richiede delle conversioni più mirate all'interno di Swift.
- **passaggi di argomenti a funzioni per riferimento e per valore:** i due linguaggi differiscono in alcuni casi nel passaggio di parametri a funzioni. Infatti, per strutture come gli array, Python non crea copie al momento del passaggio di un'istanza come argomento ad una funzione. Quindi, all'interno dello scope della funzione si ha accesso al riferimento della struttura iniziale e ogni modifica applicata ad essa rimarrà persistente anche quando l'esecuzione della funzione sarà terminata. Al contrario, questo tipo di strutture sono passate in Swift come valore, ovvero, vengono create delle copie al momento della chiamata di funzione. Questo significa che tutte le azioni effettuate su una determinata struttura di questo tipo, dopo essere stata copiata, non andranno a coinvolgere la copia originale. Inoltre, di default, Swift istanzia le variabili passate come argomento di funzione come "let", ovvero costanti, e quindi non permette modifiche.
- **gestione delle variabili opzionali:** mentre Python utilizza un approccio più classico a riguardo, Swift fornisce un sistema abbastanza sofisticato per la gestione delle variabili opzionali, al fine di tutelare il programmatore nel ridurre il numero degli errori dovuti alla presenza di valori nulli all'interno delle variabili. Di fatto, a causa della natura di linguaggio interpretato e della tipizzazione dinamica, Python non segnala potenziali problemi scaturiti da chiamate di funzioni su una variabile nulla e quindi semplicemente genera una eccezione a tempo di esecuzione. A sua differenza, Swift introduce il concetto di tipo opzionale. Un tipo opzionale (sintatticamente con lo stesso nome del corrispettivo tipo

normale, ma seguito da "?") consiste in un tipo le cui variabili possono contenere un valore nullo. Questo implica che i tipi non opzionali di Swift non possono assolutamente trattare valori nulli. Dunque, esistono alcuni operatori che vengono utilizzati per assicurare che una variabile opzionale risulti effettivamente in un valore non nullo. Alcuni di questi sono: "!" che consiste in un'asserzione (ovvero, garantisce che il contenuto della variabile sia non nullo, a costo di generare un'eccezione se questo non è vero), "?? default" che permette di fornire un valore di default nel caso in cui la variabile contenga un valore nullo, ecc. Utilizzare "!" è stato definito come "unwrap", ovvero l'azione di "scartare" metaforicamente una variabile, al fine di ottenere il vero valore che è "incartato" al suo interno. Potenzialmente, si potrebbe applicare l'unwrap in ogni caso, per ottenere un comportamento simile a quello di Python, ma ciò andrebbe contro le linee guida del linguaggio.

I tipi opzionali si possono incontrare spesso all'interno di Swift, come quando si utilizzano dizionari, che potrebbero avere o non avere un valore corrispondente ad una chiave. Per di più, è importante saper applicarli nel modo corretto. Ad esempio, la segnatura di una funzione deve necessariamente specificare se un suo argomento o il suo valore di ritorno abbia un tipo classico o opzionale.

Il controllo del rispetto di queste regole, all'interno di un programma, viene fatto a tempo di compilazione.

4.2.2 Corrispondenza tra le due versioni

Durante il processo di porting, è stato tenuto un occhio di riguardo per quanto riguarda la corrispondenza tra la versione originale dello script (in Python) e quella in Swift. Ovvero, si è cercato di mantenere i due script il più simili possibile, senza stravolgere completamente la struttura del programma. Oltre a ridurre il rischio che i comportamenti di questi due subiscano delle differenze, l'importanza di questa accortezza proviene dal fatto che in futuro potrebbero venire applicate delle modifiche alla copia originale e quindi queste si dovranno rispecchiare nella versione scritta in Swift. Nel caso in cui il programma venisse totalmente riprogettato, si perderebbe la corrispondenza tra le due versioni e quindi una modifica sostanziale nella versione originale, richiederebbe un grande lavoro di adattamento nella versione scritta in Swift.

4.3 Adattamento all'ambiente mobile (iOS)

Per portare a termine il porting dello script di preparazione dei dati, è stato necessario compiere diversi passi. Sono state applicate una serie di modifiche, tenendo conto di tutte le differenze tra i due linguaggi e ambienti di programmazione che sono state descritte in precedenza. In situazioni particolarmente delicate, in cui il dislivello tra i due linguaggi impediva la trascrizione diretta,

non si ha potuto far altro che riprogettare qualche piccola funzione, mantenendo l'opportuna cautela.

4.3.1 Modifica della sintassi

Per prima cosa, è stato utile ricostruire il corpo dello script, ovvero tutte le funzioni principali, modificando la sintassi di base. Sostanzialmente, sono stati modificati gli scope di Python basati su indentazione, in scope C-like, formati da parentesi graffe. Inoltre, sono state modificate tutte le condizioni presenti nelle intestazioni dei cicli e di altri costrutti. Esempi sono l'operatore "and" che diventa "&&" e "for i in range(n)" che diventa "for i in 0.. n ".

4.3.2 Dichiarazione delle variabili

Dato che nello script di partenza non appariva alcuna dichiarazione di variabile, ma soltanto assegnamenti, è stato necessario aggiungerle da zero, in modo da adattarsi alla sintassi di Swift. Come procedimento generale, è stato deciso di rendere costanti (utilizzando la keyword "let") tutte le variabili che contenevano i parametri immutabili, inseriti manualmente nello script. Invece, è stata utilizzata la semplice keyword "var" per tutte le variabili rimanenti, ad eccezione di quelle che rimanevano immutate, con le quali è convenuto quindi utilizzare "let". Inoltre, dato che lo script era composto da più funzioni modulari che venivano invocate da una singola funzione di interfaccia, è stata aggiunta la keyword "private" a tutte queste funzioni, al fine di rendere l'interazione con il nuovo modulo meno incline ad errori.

4.3.3 Aggiunta di tipi espliciti

Sempre al fine di mantenere il codice simile tra le due versioni dello script, si è fatto un forte utilizzo dell'inferenza di tipo fornita da Swift. Quindi, ove possibile non si è specificato il tipo nella dichiarazione di variabili. Tuttavia, è stato obbligatorio specificare il tipo in molti contesti, come nella segnatura delle funzioni e nella dichiarazione di variabili, senza assegnazione diretta. A causa del fatto che Python non rende esplicito il tipo delle variabili, nel porting si è dovuto gestire caso per caso, facendo controlli accurati sull'entità di ogni variabile utilizzata.

4.3.4 Mappatura delle strutture dati

La questione delle strutture dati è stata abbastanza delicata, non tanto per le strutture semplici, ma per quelle più complesse, che sono organizzate diversamente all'interno dei due linguaggi.

In Python si può sfruttare una libreria nativa per convertire dati in formato JSON direttamente in strutture del linguaggio (dizionari, liste, ecc.). In Swift esiste una libreria di terze parti, chiamata *SwiftJSON*, che ha un comportamento simile a quella di Python, ma con differenze dovute alla presenza dei tipi

opzionali nel linguaggio. Per mantenere il codice Swift, simile a quello Python, è stata utilizzata *SwiftJSON* per creare una struttura a dizionario "[String : [Double]]" che potesse essere utilizzata per manipolare i dati JSON di una registrazione. La chiave di tipo "String" contiene il timestamp, mentre valore come array di "Double" è la lista dei valori ottenuti dai sensori in quell'istante.

4.3.5 Adattamento del passaggio di argomenti

Per quanto riguarda tutti i parametri delle funzioni che appartenevano a tipi primitivi, la trascrizione è stata diretta e pressoché priva di complicazioni. Invece, non è stato altrettanto semplice gestire parametri di tipi più complessi, come i dizionari. Infatti, in questo caso è stato riscontrato il problema della differenza di modalità in cui vengono passati gli argomenti alle funzioni. Mentre Python tratta i dizionari come una sorta di oggetto e quindi li passa con un riferimento, Swift li tratta come delle struct (simili a quelle esistenti in C) e al momento del passaggio genera una vera e propria copia.

All'interno dello script originale, sono state apportate modifiche al dizionario contenente i dati della registrazione, proveniente dal formato JSON. Tutta la pulizia e la preparazione dei dati sono state fatte principalmente in questo modo. Dato che le modifiche effettuate sui dati hanno raggiunto un numero abbastanza elevato, lo script Python è stato suddiviso in funzioni modulari, in modo da far applicare una sola modifica ad ogni funzione. Per la maggior parte dei casi, queste funzioni possono essere definite come procedure, in quanto operano sui dati come side effect, senza restituire alcun risultato. La maniera più semplice e intuitiva di fare ciò è stata quella di passare il dizionario dei dati a tutte le funzioni. Facendo così, ogni funzione ha potuto lavorare direttamente sull'oggetto e applicare modifiche allo stesso.

Trasferendo questa logica su Swift direttamente, non si sarebbe ottenuto il risultato desiderato. Oltre al fatto che all'interno di ogni funzione sarebbe esistita solamente una copia locale del dizionario e quindi nessuna modifica sarebbe stata portata a termine alla fine del processo, la differenza più proibitiva sarebbe stata che di default Swift istanzia le variabili provenienti dagli argomenti di una funzione come costanti, impedendo così la loro modifica. Quindi, una potenziale opzione sarebbe stata quella di restituire il dizionario modificato come valore di ritorno della funzione e aggiornare la variabile nello scope chiamante, ma per mantenere consistenza con lo script originale, si è scelta un'altra strada. Swift offre un modo di passare argomenti ad una funzione attraverso un riferimento modificabile. Questo meccanismo richiama un po' il passaggio di puntatori che esiste in C. In questa maniera, è possibile modificare direttamente il dizionario all'interno delle funzioni, mantenendo il side effect come si faceva nello script in Python. Per rendere questo possibile, si deve specificare nella segnatura, che i parametri della funzione siano di tipo "in-out" e precedere la variabile passata come argomento con il simbolo "&", per forzare il passaggio per riferimento (similmente a come si farebbe in C).

4.3.6 Gestione dei tipi opzionali

Come già anticipato, Swift incentiva l'utilizzo di tipi opzionali qualora una certa variabile potesse avere valore nullo. Questo avviene sempre con i dizionari, in quanto potrebbe accadere che ad una specifica chiave non sia associato alcun valore. Dato che nello script si è fatto un frequente utilizzo del dizionario contenente i dati della registrazione, questa questione si è presentata spesso. Nel caso di questo dizionario, le chiavi in questione corrispondevano ai timestamp del campionamento, quindi si aveva una certezza riguardo l'esistenza delle stesse e dunque è sempre stato possibile eseguire l'unwrap forzato dei valori, senza dover fornire un valore di default. In qualche altra situazione un po' più delicata, è convenuto invece selezionare un valore di default per garantire un funzionamento corretto nei casi estremi di presenza di valori nulli.

4.3.7 Sostituzione delle librerie

Trovandosi con Swift e su un sistema operativo mobile, l'intero ecosistema di librerie e funzionalità che sfruttava lo script originale, scritto in Python, non può essere acceduto. Questo implica una necessità di adattamento verso il nuovo ambiente. Alcune librerie che venivano utilizzate dallo script originale non sono più necessarie, grazie a delle differenze nel comportamento dei due programmi. Altre, invece, sono rimaste necessarie per il corretto funzionamento dello script e quindi sono state rimpiazzate da opportune librerie Swift.

Dato che il programma originale doveva lavorare su tutte le registrazioni di dati effettuate dagli utenti, faceva largo utilizzo del file system per leggere e scrivere tutti i dati in una struttura di directory dedicata. Per questo venivano utilizzate delle librerie di Python per l'interazione con il file system stesso. Nel caso di Swift, queste non sono state necessarie, in quanto il processo avviene soltanto sui dati di una singola registrazione, e non serve quindi salvare questi su memoria di archiviazione. Infatti, essi vengono caricati nel database e processati in locale immediatamente dopo che la raccolta abbia terminato.

Tra le vere e proprie azioni applicate sui dati, è capitato spesso di dover utilizzare operazioni di algebra lineare, o più in generale, operazioni sofisticate sui numeri. Nello script Python è stata scelta la libreria esterna *Numpy*, in quanto dotata di tutte le funzionalità da noi richieste. Degli esempi di usi che ne sono stati fatti ci sono le rotazioni 3D utilizzando matrici, calcoli di prodotti tra matrici, calcoli di deviazioni standard, ecc. Chiaramente queste tipologie di operazioni sono rimaste presenti nel programma Swift e quindi è stata fatta una ricerca di librerie sostitutive che potessero rimpiazzare *Numpy*. Per quanto riguarda le operazioni su vettori e matrici, è stata trovata ed utilizzata la libreria *SIMD*, sviluppata direttamente da Apple. Questa libreria offre una vasta varietà di funzionalità riguardanti l'algebra lineare, infatti è stato possibile utilizzarla per definire matrici, effettuare dot e cross product, applicare normalizzazioni, ecc. Per funzioni matematiche più semplici, è stato trovato in Swift un supporto diretto, a differenza di Python che ha richiesto l'uso di altre librerie.

4.4 Esecuzione delle predizioni

4.4.1 Inserimento del modello nell'app

Per poter effettuare una predizione in locale nell'app, è chiaramente necessario che il modello classificatore venga inserito nell'app stessa. Attraverso lo strumento di creazione del modello, si è potuto estrarre il modello addestrato, compattato in un solo file con estensione ".mlmodel". Per effettuare il deploy di questo file nell'app, è bastato soltanto aggiungerlo al progetto Xcode e utilizzare l'API fornita appositamente da *CoreML*. Infatti, una volta che si ottiene il modello in quel formato, esso può essere sfruttato completamente attraverso questa libreria. *CoreML* si occupa della generazione automatica di una serie di classi che permettono allo sviluppatore di interagire con il modello. In particolare, fornendo un modello chiamato "ModelloEsempio.mlmodel", verranno generate le seguenti classi:

- "ModelloEsempio": classe utilizzata per l'istanziamento del modello nel codice, utilizzata per avviare la predizione.
- "ModelloEsempioInput": classe utilizzata per fornire l'input a "ModelloEsempio", contiene un costruttore con dei parametri autogenerati, uno per ogni feature di input del modello (con il relativo tipo).
- "ModelloEsempioOutput": classe utilizzata ricevere l'output di una predizione di "ModelloEsempio". Contiene degli attributi autogenerati (variabili a seconda della tipologia di modello), tra cui la feature di output del modello (con il relativo tipo) e l'accuratezza della predizione.

Capitolo 5

Rappresentazione dei parcheggi sulla mappa

5.1 Recupero dei parcheggi nella zona visualizzata

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

5.2 Disegno dei parcheggi sulla mappa

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

5.3 Informazione sul tipo di parcheggio

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

5.4 Informazione sull'orientamento del parcheggio

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

5.5 Beneficio dell'utente

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.