



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea

Predizione di difettosità nello sviluppo software attraverso machine learning

Apprendimento automatico applicato all'ingegneria del software

Relatore

prof. Maurizio MORISIO

Candidato

Jacopo NASI [255320]

Supervisore Aziendale

dott. Davide PIAGNERI

APRILE 2020

Sommario

Ogni giorno migliaia di commit vengono eseguiti, ognuno di loro contiene molte informazioni: file modificati, modifiche, commenti, registri di test e molto altro. Una strutturata e corretta gestione delle piattaforme di concontrollo sorgente permette l'estrazione di dati utili analizzabili utilizzando modelli statistici di intelligenza artificiale.

Al fine di poter correttamente utilizzare questi dati sono necessari alcuni step preliminari: la prima fase riguarda l'analisi della struttura dati al fine di permettere l'estrazione di tutte le possibili informazioni, successivamente la pre-elaborazione per rimuovere informazioni di inutili e di disturbo, con i dati puliti è possibile procedere con l'estrazione di dati combinati, come la seniority degli sviluppatori, una lista di parole dei componenti modificati, la versione ed altre informazioni di carattere più matematico. L'ultima fase prevede la sostituzione dell'etichetta testuale relativa alla priorità con un valore numerico corrispondente al valor medio della distribuzione della durata di quella etichetta, questo valore prenderà il nome di severity. I dati verranno poi aggregati per settimana. Una volta generati i dati verranno utilizzati per allenare tre differenti modelli: Random Forest, Gradient Boosting e Reti Neurali. L'allenamento sarà gestito in tre differenti modalità: la prima allena e predice utilizzando lo stesso filone di dati, la seconda, cross-version, prevede che il modello venga allenato su dati relativi ad alcune versione del progetto per poi effettuare la predizione sulle successive, la terza, cross-project, allena il modello con dati relativi ad un progetto per poi prevedere l'andamento di uno

differenti.

Tutte le tipologie ottengono dei buoni risultati, il migliore è quello cross-project che riesce ad ottenere una precisione maggiore del 90% fino a quattro settimane e comunque maggiore del 70% fino a 20 settimane.

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale a Smirnuff ed i suoi cavalieri, luce della mia battaglia.

Indice

1	Introduzione	7
1.1	Problema Generale	7
1.2	Strumenti utilizzati	8
2	Stato dell'arte	11
2.1	Lavori correlati	11
3	Dati	13
3.1	SEOSS33	13
4	Apprendimento Automatico	19
4.1	Introduzione	19
4.2	Apprendimento d'insieme	21
4.3	Reti Neurali	23
4.4	Metriche di valutazione	32
5	Pre-elaborazione	35
5.1	Pulizia	35
5.2	Estrazioni base	41
5.3	Estrazioni complesse	43
6	Predizione	51
7	Conclusioni	53
	Bibliografia	55

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Problema Generale

Lo sviluppo software non si presenta molto differente dallo sviluppo di qualsiasi altro prodotto, dopo una fase iniziale di progettazione lo sviluppo del codice può avere inizio, durante esso emergeranno sistematicamente dei problemi che dovranno essere risolti prima della consegna della versione finale.

Ogni progetto software è costituito da diversi commit per giorno, ognuno di essi contiene innumerevoli informazioni le quali possono essere utilizzate per analisi statistiche. La predizione della difettosità può migliorare enormemente il processo di sviluppo, allocando un corretto numero di sviluppatori per risolvere le problematiche e riducendo quindi le tempistiche per la correzione. Anche il machine learning può essere utilizzato per la predizione dei difetti.

La predizione è uno strumento sempre più utilizzato a livello industriale, un corretto utilizzo può generare enormi benefici a livello produttivo, permettendo la riduzione di sprechi, l'ottimizzazione delle vendite e tante altri vantaggi. Lo sviluppo di progetti di natura informatica è sempre di più centrale all'interno della nostra società attuale, anche questo processo potrebbe trarre beneficio dai vantaggi della predizione. L'implementazione di tecniche statistiche viene in supporto, vista la natura

intellettuale della programmazione, nella generazione di predizioni utili.

1.2 Strumenti utilizzati

Lo sviluppo di questo progetto ha richiesto l'utilizzo di diversi strumenti, di seguito una lista degli stessi:

Python Il linguaggio di programmazione principale, utilizzato per la gestione dei dati, l'estrazione di informazioni, l'applicazione di algoritmi matematici e l'interazione con altri software. Nello specifico la versione utilizzata è stata la v3.7.0

Pandas Libreria open source ad alte prestazioni, con semplici strutture e strumenti adatti all'analisi dati attraverso Python.

NumPy Libreria per il calcolo scientifico attraverso Python.

Matplotlib Libreria per il disegno di grafici 2D in Python.

Seaborn Libreria avanzata per il disegno 2D in Python.

Tensorflow Piattaforma per machine learning.

Keras API di alto livello per reti neurali.

SciKit-Learn Strumenti e librerie per machine learning.

GitLab Piattaforma di sourcing basata su Git. Utilizzata per il codice sorgente del progetto.

GitHub Piattaforma di sourcing basata su Git. Utilizzata per il calendario e elaborato testuale:

- Tesi: <https://github.com/Jacopx/Thesis>
- Calendario: <https://github.com/Jacopx/ThesisCalendar>

JetBrains IDEs IDE per lo sviluppo di diversi linguaggi di programmazione, gratuita per gli studenti:

- PyCharm: <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
- DataGrip: <https://www.jetbrains.com/datagrip/>

Capitolo 2

Stato dell'arte

2.1 Lavori correlati

Parlando di altri lavori su simili tematiche.

Capitolo 3

Dati

Le seguenti sezioni analizzeranno le basi di dati utilizzate in questo progetto.

3.1 SEOSS33

SEOSS33[1] è una [base dati](#) collezionante errori, issue e tante altre informazioni a proposito di 33 progetti open source. I dati sono stati tutti collezionati estraendo le informazioni dalle piattaforme di controllo del codice sorgente, Version Control System (VCS), come GitHub e dalle piattaforme per la gestione dello sviluppo, Issue Tracking System (ITS), come Jira di Atlassian.

Ad oggi nessun altro progetto di ricerca, su questi dati, è stato effettuato.

Ogni progetto prevede una propria linea durante la fase di sviluppo, tutte le metodologie e linee guida sono alla base degli studi di ingegneria del software. Tuttavia è possibile unificare ed accorpare secondo una categorizzazione standard molte delle differenze specifiche. Lo sviluppo della base dati SEOSS33 mira proprio alla creazione di un serie di dati generalizzati e fruibili attraverso medesime procedure senza la necessità di adattarsi alle specifiche caratteristiche di ogni singolo progetto.

Il mondo open source presenta una quantità pressochè infinita di differenti software, parte del progetto in questione è stata dedicata alla selezione dei software da

analizzare per l’inserimento nella base dati condivisa, per questo motivo sono state definite alcune caratteristiche che accomunassero i vari progetti in modo da costituire una base: discretamente omogenea a livello di dimensionalità, ma con differenze strutturali utili per successive analisi come quella relativa a questo progetto. Il requisito principale riguardava il linguaggio di programmazione, considerare progetti sviluppati per la maggior parte in un singolo linguaggio di programmazione permette di ridurre la variabilità interna ad ogni singolo progetto. Vista la natura di analisi attraverso il machine learning, un’altra importante caratteristica riguardava il numero di issue, il quale doveva essere sufficientemente elevato. I progetti, oltre a dover essere attualmente in sviluppo, dovevano presentare un età di almeno 3 anni. La definizione di tutti questi parametri a permesso di generare una base dati contenente 33 progetti simili come struttura ma con caratteristiche differenti.

Lo sviluppo del presente progetto di tesi si è concentrato solamente su cinque di questi schemi, sono stati scelti i progetti più grossi e quelli in sviluppo dal maggior tempo, nello specifico i selezionati sono riportati in tabella 3.1:

Tabella 3.1. Distribuzione dati

Progetto	Mesi	Issue
Hadoop	150	39086
Hbase	131	19247
Maven	183	18025
Cassandra	106	13965
Hive	113	18025

Al fine di generalizzare le specifiche differenze, le varie issue: *New Feature*, *Bug Report*, ecc... Sono state mappate su cinque categorie:

- Bug: Un problema che previene il funzionamento del prodotto
- Feature: Una nuova funzionalità del prodotto
- Improvement: Un miglioramento di una funzionalità già esistente

- Task: Un compito necessario
- Other: Vario

La figure 3.1 visualizza la distribuzione, rispetto le varie categorie, del numero di issue per ogni progetto.

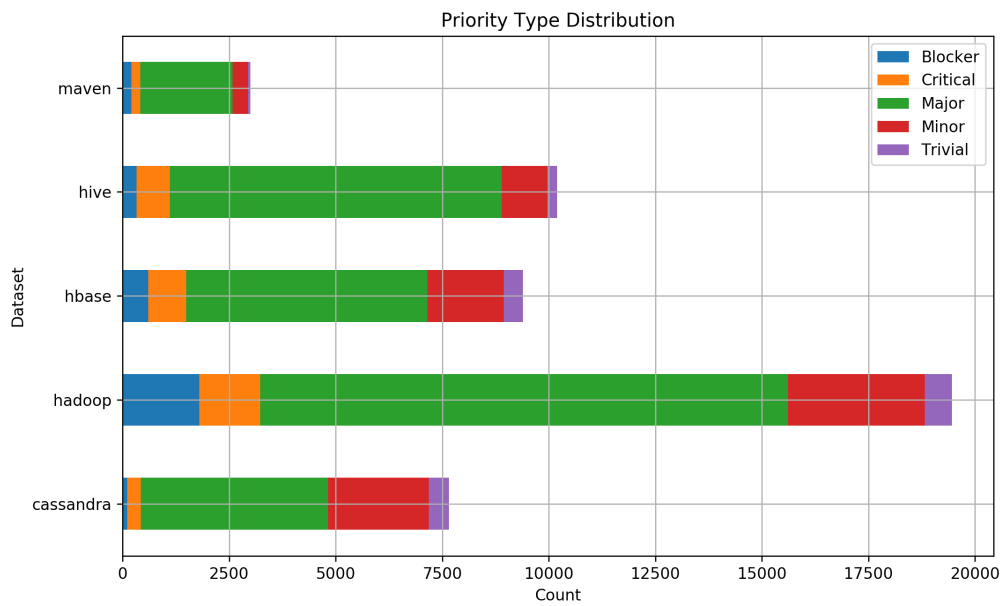


Figura 3.1. Distribuzione issue per progetto

Per poter estrarre ed utilizzare al meglio i dati è necessario conoscere al meglio la struttura contenitore. I dati relativi ad ogni software sono salvati in un file SQLITE, un database SQL offline che permette l'accesso sfruttando le potenzialità delle query, senza la necessità di un server vero e proprio. La figura 3.2 riporta lo schema integrale della struttura.

Tutto il modello si basa sulla sua entità centrale, la issue, ovvero l'attività di segnalazione che è stata creata da uno sviluppatore per gestire una problematica. Ognuna di queste issue è caratterizzata dal proprio *issue_id* il quale ne rappresenta la chiave primaria ed univoca, normalmente è strutturata con il nome del

progetto seguito da un numero progressivo. La tabella relativa alle issue contiene ulteriori informazioni direttamente correlate, la tipologia, la priorità, le informazioni temporali di apertura, aggiornamento e chiusura della stessa, un breve riassunto della problematica, lo stato e le informazioni relative allo sviluppatore che l'ha aperta. Direttamente collegate, tramite la chiave primaria, vi sono le tabelle contenenti i commenti *issue_comment*, la versione *issue_fix_version*, il componente modificato *issue_component* ed la tabella *change_set_link* la quale collega i vari commit alle issue. Durante l'estrazione delle varie informazioni sono state utilizzate tutte le tabelle ad esclusione di *issue_link* la quale viene utilizzare per correlare le differenti issue tra di loro.

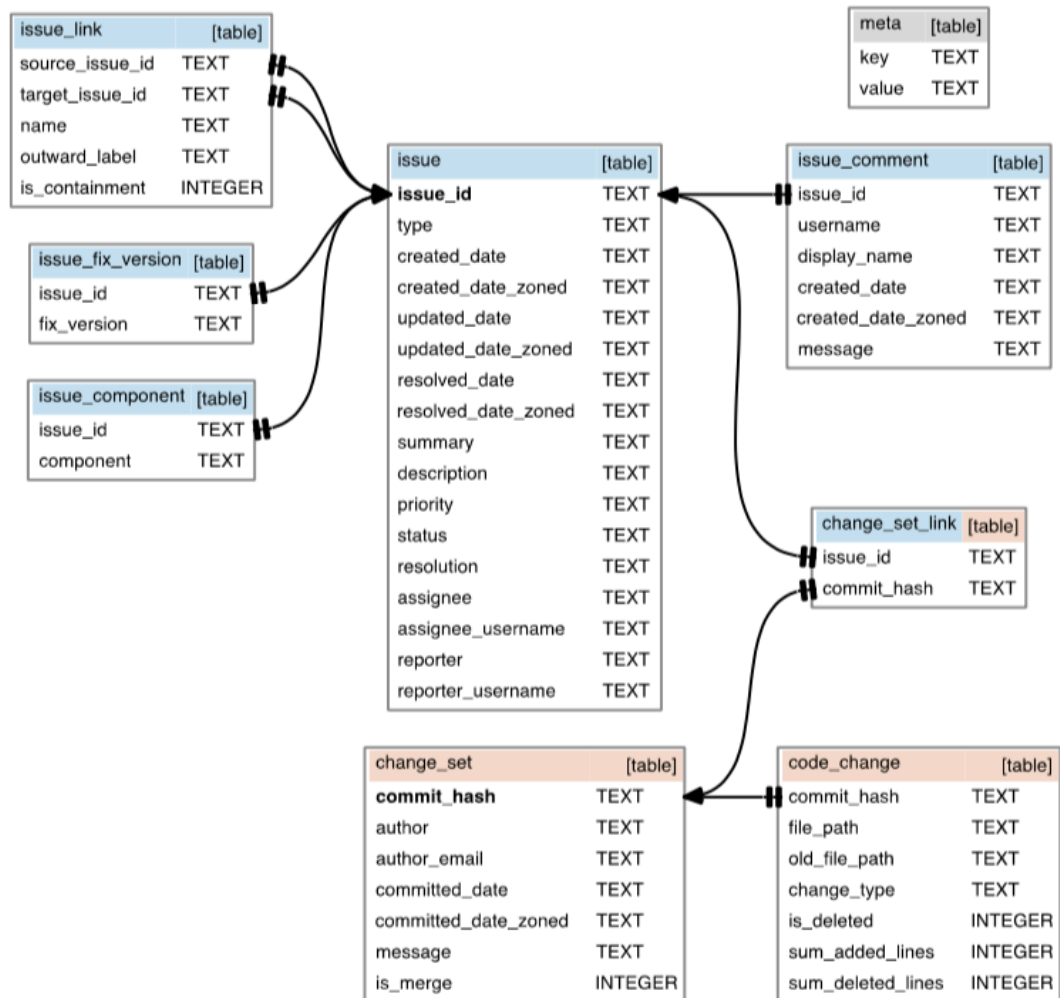


Figura 3.2. Struttura dati di SEOSS33

Capitolo 4

Apprendimento Automatico

4.1 Introduzione

L'apprendimento automatico, meglio conosciuto come Machine Learning (ML), è una branca dell'intelligenza artificiale basata sullo studio di algoritmi e modelli statistici utilizzabili dai calcolatori per svolgere determinati compiti senza essere esplicitamente istruiti per farlo. Questo settore è ormai diventato di dominio pubblico, solo negli ultimi decenni l'utilizzo di queste tecniche è cresciuto enormemente nonostante la maggior parte di esse furono teorizzate già molti anni prima. La motivazione principale di questo ritardo è da ricercare nella natura stessa di queste strategie, la capacità computazionale diventa rilevante e fondamentale all'applicazione degli stessi, grazie alla crescita di essa è ora possibile sfruttare questi algoritmi anche nei computer di casa.

Tutti gli algoritmi possono essere catalogati in una delle seguenti categorie:

- Knowledge-based: Acquisizione e modellazione di leggi conosciute (dalle regole ai fatti)
- Learning: Estrazione della conoscenza e delle regole attraverso esempi ed esperienza (dai fatti alle regole)

Tutti gli algoritmi in ambito ML fanno parte della seconda categoria. A loro volta questi algoritmi possono essere divisi in tre principali sotto-categorie: apprendimento supervisionato, apprendimento non supervisionato e apprendimento per rinforzo. Nel primo vengono forniti modelli di dati in ingresso e i dati desiderati in uscita e lo scopo è quello di definire una regola che associ i due parametri. Nel modello non supervisionato il modello ha il compito di trovare una struttura ai dati in ingresso, senza che essi siano precedentemente etichettati in alcun modo. L'ultimo invece viene allenato per un compito, senza che gli venga insegnato come fare ma solamente conoscendo il risultato finale delle proprie azioni.

Esistono una varietà enorme di modelli di questa tipologia, i successivi paragrafi tratteranno quelli utilizzati in questo progetto.

Apprendimento Supervisionato è una tecnica che prevede di processamento dei dati in ingresso con associati i valori desiderati in uscita, lo scopo del modello è quindi quello di sviluppare una correzione matematica tra tutte le informazioni che riceve in ingresso ed i valori desiderati in uscita. Una volta terminata la fase di allenamento il modello potrà essere utilizzato per prevedere il valore di uscita dati i valori in ingresso. Questa metodologia può essere applicata nella risoluzione di problemi di due differenti categorie, quelli della classificazione e quelli della regressione lineare. Lo scopo del primo è quello di assegnare una etichetta ai dati per classificarli in diverse categorie, per esempio le transazioni sane o fraudolente di una banca. L'assegnazione può essere binaria, quindi solo due etichette, o multi-etichetta. La regressione invece ha l'obiettivo di predire un valore continuo di uscita, cercare di sviluppare una relazione matematica tra tutte le variabili in ingresso, cercando di prevedere, con il miglior livello di approssimazione il valore finale. Nel nostro progetto verranno solo impiegati questi ultimi, la classificazione non verrà ulteriormente trattata.

4.2 Apprendimento d'insieme

L'apprendimento d'insieme raggruppa una serie di tecniche sviluppate al fine di migliorare i risultati dei singoli predittori. Invece che utilizzare un singolo modello, nella fase di apprendimento, vengono simultaneamente allenate diverse copie dello stesso modello con parametri differenti, ciò porterà ad una differenziazione del risultato di previsione. L'aggregazione, attraverso tecniche come bagging, boosting o stacking, permetterà di produrre un risultato più accurato e meno dipendente dalla rumorosità dei dati.

Foresta casuale conosciuta anche come Random Forest (RF) è un algoritmo di apprendimento supervisionato, basato sulle metodologie d'insieme, per la classificazione e la regressione. È costituito combinando la predizione di diversi alberi, ognuno allenato separatamente, tramite media [2]. In figura 4.1 una visualizzazione del modello.

La definizione di una foresta richiede tre parametri principali: (1) la metodologia per la divisione in foglie, (2) il tipo di predittore da usare in ciascuna foglia e (3) il metodo per garantire la randomicità. La divisione in foglia richiede la selezione della forma e metodologia per la valutazione di ogni candidato. Una tipica scelta è quella chiamata *axis-aligned*, dove i dati vengono divisi nei vari sotto alberi in base al passaggio o meno di un valore soglia, il quale viene scelto casualmente o dalla funzione di ottimizzazione della foglia. Al fine di dividere una foglia vengono generati diversi candidati e viene definito un criterio per scegliere tra essi. Un primo approccio potrebbe essere quello della selezione casuale uniforme, altrimenti la scelta può essere guidata da una funzione di purezza, cercandone la massimizzazione.

Possono essere utilizzate diverse tecniche per generare casualità nella foresta, attraverso la definizione di soglie senza l'utilizzo di funzioni oppure effettuando con

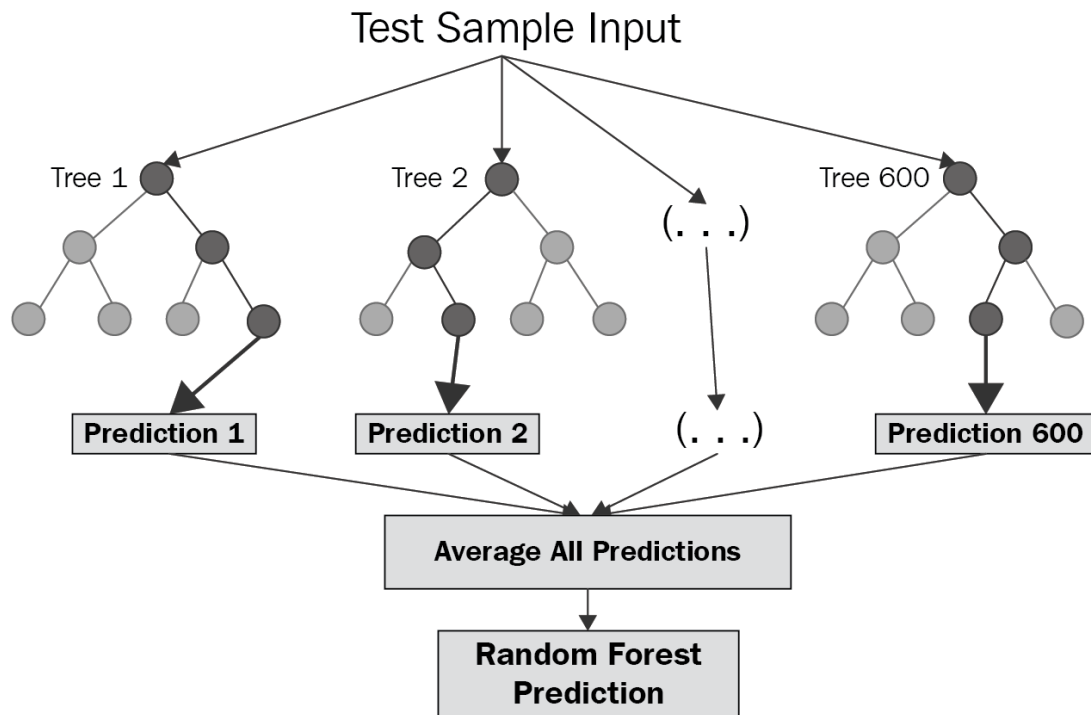


Figura 4.1. Schema semplificato di foresta casuale [3]

l'allenamento di ogni albero su una selezione di dati ristretta in modo da diversificare direttamente il risultato a livello di insieme.

La fase di training viene gestita indipendentemente da ogni albero attraverso punteggi di struttura e stima, i primi permettono la variazione della forma dello stesso, mentre i secondi guidano le funzioni di ottimizzazione delle singole foglie.

Un volta effettuato l'allenamento della rete è possibile utilizzare il modello per la predizione dei valori. Nella fase di stima, ogni singolo albero, genererà indipendentemente un proprio valore, la scelta finale avverrà calcolando la media aritmetica di tutti questi valori generati, il contributo è equamente ripartito tra tutti.

La nostra implementazione sfrutta le API per la Random Forest di SciKit-Learn v0.21:

```
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
```

Gli specifici parametri utilizzati verranno illustrati durante il capitolo 6 sulla previsione.

Macchine ad aumento di gradiente conosciute anche come Gradient Boosting Machines (GBM), sono una famiglia di potenti modelli statistici di apprendimento automatico in grado di ottenere ottimi risultati in una grande varietà di applicazioni. Una delle loro principali caratteristiche è la possibilità di personalizzare il modello in base alle caratteristiche dell'applicazione [4]. Tecniche come la foresta casuale, appena trattata, sono basate sulla semplice media dei risultati prodotti da ogni singolo componente. La famiglia dei metodi di aumento è basata su una differente strategia di unione dei pezzi per la formazione della modello finale. Il boosting aggiunge, sequenzialmente, nuovi parti all'insieme; durante la fase di allenamento vengono via via sviluppati nuovi piccoli modelli da aggiungere al fine di migliorare l'accuratezza nella previsione. Idealmente vengono costruiti nuovi modelli di base, come per esempio l'albero decisionale, per poter massimizzare la correlazione con il gradiente negativo della funzione di perdita (*loss*).

Vista l'alta flessibilità del modello, l'adattamento dello stesso a differenti ambienti non risulta difficoltoso, molte differenti sperimentazioni possono essere fatte.

Nel nostro progetto si è deciso di implementare il modello di Gradient Boosting Decision Tree (GBDT) sempre utilizzando la libreria SciKit-Learn v0.21:

```
from sklearn.ensemble import GradientBoostingRegressor
```

4.3 Reti Neurali

Le reti neurali, in inglese Neural Networks (NN), sono modelli di apprendimento automatico con diretta ispirazione al cervello umano e come esso procede alla fase di apprensione di un concetto, la rete è costituita dalla basilare unità di calcolo, il neurone (neuron), collegata ad altri neuroni attraverso le sinapsi (synapses). La

conoscenza è data alla rete, nella fase di allenamento, attraverso esempi, la forza delle connessioni inter neurali è la base per acquisire e mantenere la conoscenza.

La fase di apprendimento può essere sia supervisionata che non supervisionata. La modalità supervisionata viene utilizzata per il riconoscimento di schemi (pattern recognition) e regressione e viene effettuata sempre con i dati di input ed i desiderati dati di output. Invece, la modalità non supervisionata, è maggiormente utilizzata per sviluppare modelli adatti al raggruppamento (clustering) e l'allenamento viene effettuato senza il valore desiderato. Il nostro progetto farà uso di reti neurali per la regressione.

Questa tipologia di reti può essere di tre tipologie:

- Singolo livello flusso in avanti
- Multi livello flusso in avanti
- Ricorsiva

L'architettura standard è composta di tre diversi livelli, figura 4.2, lo strato di ingresso, le unità nascoste e il livello di uscita; tutti questi livelli sono correlati tra loro tramite le connessioni sviluppate durante la fase di apprendimento. Il neurone è l'unità basilare per il processamento all'interno della rete, si occupa di ricevere i dati in ingresso, gestirli e poi passarli ai successivi livelli. Ogni ingresso combina i dati con il proprio stato interno e la funzione di attivazione per poi procedere a passare il valore come ingresso del livello successivo. L'importante che ognuno di questi valori in ingresso avrà sarà determinata dal peso assegnato alla connessione durante la fase di allenamento della rete stessa. Ogni nodo ha la possibilità di ricevere più di un ingresso, per questo motivo, tutti i valori verranno aggregati in modo da consegnare un solo valore come ingresso del successivo strato, la formula per il calcolo della somma è:

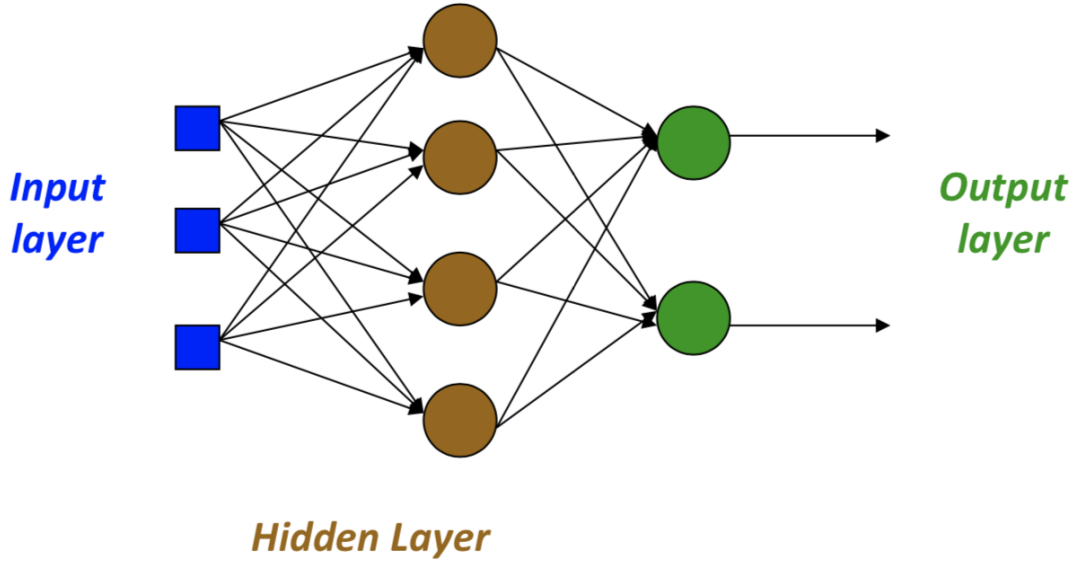


Figura 4.2. Rete a flusso avanti multi livello

$$u = \sum_{j=1}^m w_j x_j \quad (4.1)$$

Il valore calcolato viene scalato tramite una funzione di attivazione φ al fine di limitarne l'ampiezza:

$$y = \varphi(u + b) \quad (4.2)$$

La precedente funzione riporta il parametro b il quale rappresenta il bias, un parametro esterno del neurone. y rappresenta invece il valore di uscita dopo la computazione, il quale rappresenta il valore di ingresso del successivo livello gerarchico. Un esempio della struttura in questione si può trovare in figura 4.3.

Diverse funzioni di attivazione possono essere applicate al neurone, il loro compito è quello di emulare la tipica risposta biologica del sistema nervoso umano e le sue differenti metodologie di attivazione. Nel corso degli anni sono state definite

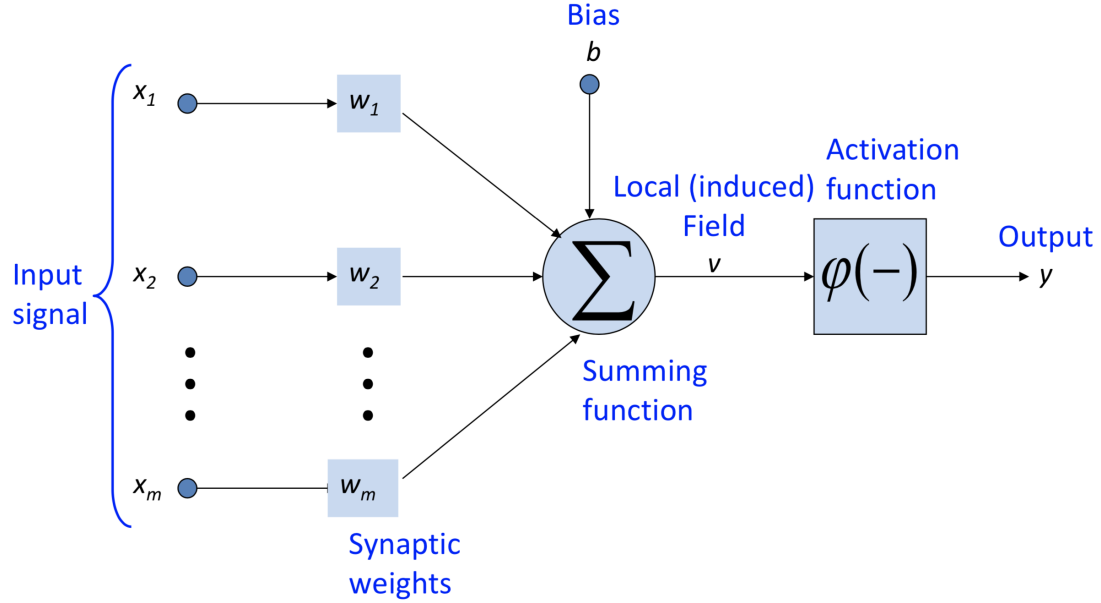


Figura 4.3. Visualizzazione di neurone

numeroso differenti funzioni, più o meno adatte a differenti contesti, con proprie peculiarità, problematiche e caratteristiche. Possono essere classificate in due categorie, lineari e non lineari, le più comuni sono: lineare, gradino, relu e sigmoide.

Gradino è una delle più comuni funzioni di attivazione, binaria, lineare e basata su soglia, in figura 4.4 la sua definizione. Quando il valore in ingresso è sopra o sotto la soglia definita, il neurone viene attivato e passa il valore in ingresso al successivo livello. La principale problematica correlata a questa funzione è la sua impossibilità di gestire valori multipli in uscita.

Lineare è una funzione di attivazione lineare della forma:

$$f(x) = x \quad (4.3)$$

La funzione, dato il valore in ingresso e moltiplicandolo per il peso del neurone, calcola il valore di uscita. Rispetto alla funzione gradito possono essere generati output multi valore, presenta comunque due problematiche: non sarà possibile utilizzare la retropropagazione (trattata successivamente) per allenare la rete, vista la funzione derivata costante; l'altro problema riguarda il collasso di tutto i diversi livelli in uno solo, vista la sua natura lineare, il valore di uscita finale sarà in ogni caso la combinazione lineare tutti i livelli precedenti. La figura 4.5 visualizza la curva in questione.

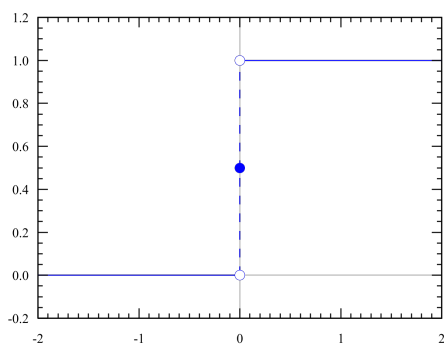


Figura 4.4. Funzione a gradino

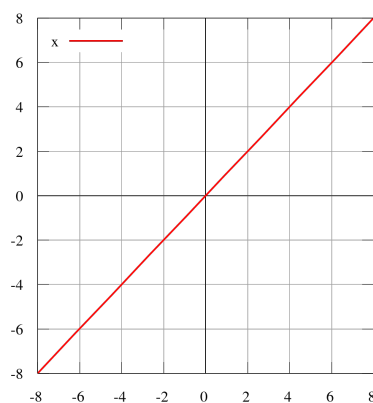


Figura 4.5. Funzione lineare

Sigmoide è la prima funzione di attivazione non lineare trattata, nello specifico è caratterizzata dalla seguente equazione:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^x} \quad (4.4)$$

La peculiare caratteristica di non linearità permette un più morbido gradiente in modo da prevenire valori vuoti scala, normalizzando il valore tra $[0, +1]$ si ottengono anche benefici a livello di pulizia dei dati in ingresso utilizzati successivamente per le previsioni. La funzione non si presenta esente da problematiche, la principale riguarda la vanificazione del gradiente, se da un lato permette di smorzare i

valori fuori scala, si tramuta in collo di bottiglia in altri casi, in caso di valori in ingresso molto elevati o molto bassi non vi sarà differenziazione nel valore di uscita. Inoltre l'applicazione del calcolo stesso è decisamente più impegnativa a livello computazione. La figure 4.6 descrive la curva in questione.

ReLU il quale acronimo sta per Rectified Linear Unit, unità lineare rettificata, è definita nella seguente maniera:

$$f(x) = \max(0, x) \quad (4.5)$$

Nonostante assomigli molto alla funzione di attivazione lineare, presenta una funzione derivate che permette la retropropagazione e si presenta molto efficiente a livello computazione. Le problematiche si presentano in caso di valori in ingresso prossimi allo zero o addirittura negativi, il gradiente della funzione diventa nullo e la rete non potrà effettuare la retropropagazione e conseguentemente non potrà portare avanti il processo di apprendimento.

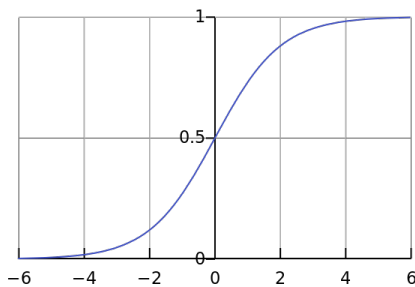


Figura 4.6. Sigmoide

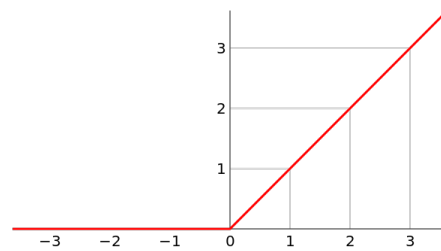


Figura 4.7. ReLU

Regola di apprendimento delta è basata sulla differenza tra il valore in uscita di riferimento e quello ottenuto dal modello e viene utilizzata per guidare la fase di apprendimento del modello stesso. Ogni volta che il valore in uscita viene calcolato

il valore the peso del neurone viene corretto basandosi su una funzione di errore con l'obbiettivo di ridurre la differenza tra i due valori in esame.

Retropropagazione dell'errore conosciuta in inglese come *backpropagation*, è un algoritmo per l'apprendimento supervisionato delle reti neurali artificiali basando sul gradiente discendente. Data una rete neurale ed una funzione di errore, il metodo calcola il gradiente della funzione riguardante i pesi della rete. È una generalizzazione della regola delta per i percetroni di reti multi livello a flusso avanti [5].

La principale caratteristica di questa tecnica è che il gradiente procede all'indietro attraverso la rete, con il gradiente del livello finale calcolato prima di quello del primo livello. Questa soluzione permette un calcolo efficiente del gradiente per ciascuno dei differenti strati. L'algoritmo è strutturato nella seguente maniera:

1. Calcolo errore per le unità di uscita
2. Dal livello più profondo, finché il primo livello non viene raggiunto:
 - (a) Propagazione dell'errore al precedente livello
 - (b) Aggiornamento dei pesi tra i due livelli

La retropropagazione soffre del problema della vanificazione del gradiente, maggiore è il numero di livelli incorporati della rete maggiore sarà la difficoltà per l'allenamento della stessa. Per via della natura della retropropagazione, quando il valore in uscita viene generato, il peso dei neuroni viene aggiornato in accordo alla regola, mano a mano che l'algoritmo procede indietro il potere correttivo diminuisce, il relazione alla derivata della funzione di attivazione; in caso di reti superficiali il problema non si rivela così determinante, il processo avviene senza limitarne gli effetti. In caso di reti più profonde la problematica potrebbe diventare determinante. Una delle possibili soluzioni a questa problematica è l'impiego di funzioni di attivazione adatte, come la ReLU, la quale permette di alleggerire la problematica.

Ulteriore soluzione è rappresentata dalla normalizzazione dei dati in ingresso, riscalando opportunamente i dati in entrata tra $[-1, 1]$ è possibile migliorare l'efficacia della procedura, questo perchè i dati verranno tenuti più lontani dagli estremi della funzione di attivazione. Esiste inoltre una tipologia di rete, memorie a lungo-corto termine, in inglese Long Short Term Memory (LSTM), sviluppata appositamente per mitigare il problema della vanificazione del gradiente nelle reti più profonde.

Reti neurali ricorsive sono una classe di reti neurali che mantiene una connessione tra nodi e sequenze temporali. La principale differenza, rispetto le classiche reti neurali, sono connessioni di feedback, le quali permettono di mantenere traccia di dinamiche temporali. Questa tipologia di reti può processare singoli punti o intere sequenze di dati, come video e discorsi verbali, fondamentale la possibilità per gli step intermedi di mantenere informazioni di input precedenti senza definirne il numero a priori.

Questo tipo di strutture viene sfruttato per numerose applicazioni: classificazione di immagini, analisi sentimentale, traduzione macchina, classificazione video, ecc. . .

Memorie a lungo corto termine le normali reti neurali possono correlare eventi a breve termine con il presente, in alcuni casi può essere sufficiente, in alcuni contesti invece può essere necessaria una connessione con margini più ampi, questo tipo di problematica viene tranquillamente gestito da questo tipo di reti. Cercando di effettuare una previsione sull'ultima parola di una frase tipo: "Il sole splende alto in *cielo*" le parole precedenti all'ultima possono essere sufficienti a determinare un corretto suggerimento da parte della rete. In caso di frasi più complesse potrebbe essere necessaria una maggiore quantità di informazioni, per la frase: "Sono nato in Italia e parlo *italiano*" il contesto si rivela fondamentale al fine di risolvere correttamente la problematica. In questa tipologia di situazione le reti LSTM possono essere di grande supporto.

Le reti a memorie a lungo e corto termine sono una tipologia speciale di reti ricorsive, introdotte da Hochreiter & Schmidhuber (1997) [6], si sono rivelate sempre più utili in ambito previsionale, per la ricerca di schemi ricorrenti a livello temporale. Sono in grado di lavorare su una grandissima varietà di problemi differenti. Normalmente le reti ricorsive si presentano su un singolo livello, in questo caso la struttura è più complessa ed è costituita da quattro diversi livelli, come visualizzato in figura 4.8.

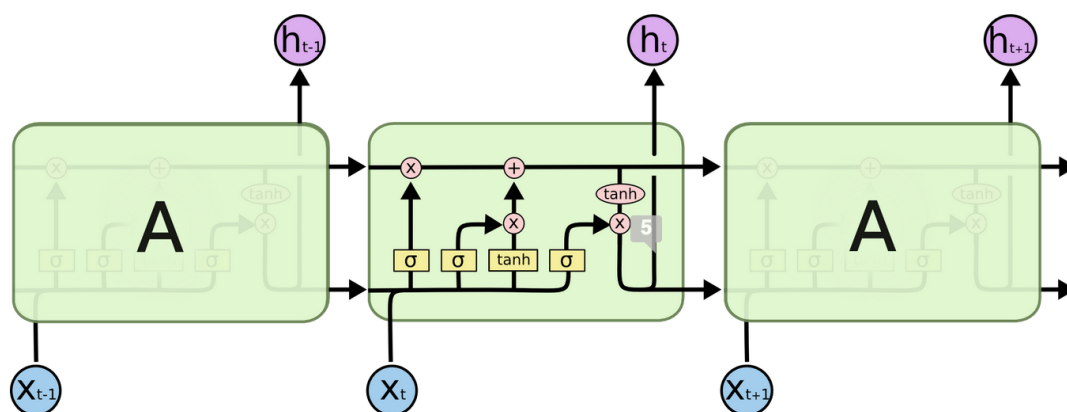


Figura 4.8. Struttura rete LSTM [7]

Il primo livello della rete ha il compito di filtrare i dati in input e selezionare cosa mantenere o meno, il secondo passaggio gestirà quali informazioni mantenere nello stato della cella. Il terzo livello invece ha il compito di aggiornare lo stato del nodo in base agli step precedenti. L'ultimo livello si occupa invece della scelta del valore di uscita.

4.4 Metriche di valutazione

Ogni modello sviluppato necessita di essere valutato, ci sono innumerevoli modalità per valutare la bontà di un modello, ognuna con proprie caratteristiche. Ovviamente il parere più oggettivo si ottiene sfruttando espressioni matematiche, sfortunatamente quest'ultime non sempre sono di facile e rapida comprensione da parte dell'uomo, alcuni errori come quello assoluto, quello relativo possono essere facilmente letti ed interpretati senza alcun tipo di problema; metriche come R^2 o l'errore quadratico richiedono una valutazione più approfondita. Dopo attente valutazioni sono state definite alcune metriche che verranno utilizzate nella valutazione dei modelli, di seguito una breve trattazione matematica degli stessi.

La maggior parte degli errori deriva dal calcolo di errori più semplici, l'errore assoluto viene calcolato computando la differenza tra l'obiettivo y ed il risultato ottenuto x :

$$\epsilon = |y - x| \tag{4.6}$$

Oltre ad essere uno dei più semplici da calcolare risulta anche uno dei più semplici da comprendere in quanto permette di visualizzare direttamente lo scostamento rispetto al valore desiderato.

Una prima metrica derivata dall'errore assoluto è l'errore relativo, calcolato dividendo l'errore assoluto per il valore desiderato:

$$\eta = \frac{\epsilon}{|x|} = \frac{|y - x|}{|x|} \tag{4.7}$$

Questo calcolo riscalda direttamente il risultato tra $[0, 1]$, ciò permette una migliore comprensione della differenza. Per esempio, con un valore desiderato di 530 ed un valore stimato di 570 i due errori vengono calcolati come segue:

$$\epsilon = |520 - 570| = 50 \quad (4.8)$$

$$\eta = \frac{50}{|520|} = 0.09 \quad (4.9)$$

la differenza era di 50 un valore che potrebbe essere considerato elevato magari ma, rispetto al valore desiderato, l'errore è in realtà molto basso, circa 9%. Gli errori presentati fino ad ora fungono da base per molti altri, esse infatti possono essere applicati solamente ad una coppia alla volta, i successivi, quelli realmente implementati invece possono essere applicati su un numero indefinito di valori. L'errore medio assoluto (Mean Absolute Error, MAE) è il più semplice di quelli utilizzati ed è calcolato come la media di tutti gli errori assoluti:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} = \frac{\epsilon}{n} \quad (4.10)$$

Un altro utile metrica è derivata dall'applicazione dell'errore relativo alle misurazioni multiple, il calcolo dell'errore medio relativo, calcolato come la media di tutti gli errori relativi:

$$REL = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|y-x|}{|x|}}{n} \quad (4.11)$$

L'impatto e l'immediatezza di questo valore permettono rapide valutazioni del comportamento generale del sistema. Per rendere ancora più semplice la precisione del modello è si è deciso di definire il calcolo della precisione come:

$$ACC = 1 - REL \quad (4.12)$$

L'ultimo errore calcolato è rappresentato da R^2 , conosciuto anche come coefficiente di determinazione, un dato molto più complesso da comprendere, utilizzato nella valutazione della bontà della curva nella regressione lineare, calcola una proporzione tra la variabilità dei dati e la precisione del modello statistico applicato, più nello specifico calcola la frazione della varianza della variabile dipendente espressa dalla regressione.

La formulazione del coefficiente è la seguente:

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad (4.13)$$

dove, con y_i i dati osservati, \bar{y} la loro media e \hat{y}_i i dati ottenuti dal modello:

$$ESS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (4.14)$$

rappresenta la devianza spiegata dal modello. Mentre:

$$TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.15)$$

è la devianza totale, e:

$$RSS = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.16)$$

la varianza residua.

In generale il valore di R^2 è compreso tra $[0, 1]$, tanto più il valore è prossimo a 1, tanto meglio il modello segue i dati e viceversa se tende a zero.

Capitolo 5

Pre-elaborazione

La fase di pre-elaborazione dei dati è fondamentale nell'applicazione di algoritmi statistici. L'utilizzo di dati non attentamente valutati può generare inutile rumore all'interno del modello sviluppato. Questa fase non si occupa solamente di rimuovere i dati inutili o sporchi, ma si occupa anche di estrarre informazioni derivate, ovvero non direttamente presenti nella base dati, e di aggregarli in maniere efficiente in modo da guidare più correttamente il sistema.

5.1 Pulizia

Il primo step di questa importante fase riguarda l'estrazioni dei dati dalla loro sorgente. Come anticipato nel capitolo 3 i dati sono salvati all'interno di un file SQLITE, una gestore SQL offline. Ogni singolo progetto: hadoop, cassandra, ecc... È salvato all'interno di uno specifico file con il nome del progetto seguito da .sqlite. La logica di interazione con questa sorgente è basata su SQL e segue tutte le classiche procedure ad esso correlate. Al fine di automatizzare questa procedura verranno sfruttate le librerie open source sviluppate per l'interfacciamento tra Python ed i sistemi SQLITE.

L'estrazione di informazioni e l'aggregazione verranno gestite principalmente all'interno dello script Python, esclusi pochi casi le query applicate saranno sufficientemente semplici. L'elaborazione di tutti questi dati è stata demandata a Pandas, di conseguenza, i risultati di ogni query verranno caricati all'interno di DataFrame di Pandas per una rapida ed efficiente gestione successiva.

Rispetto al repository di GitHub, questa fase, viene gestita dal sotto-progetto `DataAnalysis_Issue`, tramite lo script:

```
thesisProjectJN/DataAnalysis_Issue/main.py
```

Prima di poter procedere direttamente con l'estrazione delle informazioni è stata necessaria una analisi dei dati. La natura open source di questi progetti prevede il mantenimento e lo sviluppo da parte della comunità pubblica, questo comporta potenzialmente un numero di sviluppatori infinito, chiunque infatti potrebbe partecipare allo sviluppo del progetto. Vista la rilevanza del progetti in questione, lo sviluppo, nonostante sia stato mantenuto open, viene regolarmente sostenuto da società e fondazione che ne fanno utilizzo nei loro software interni, hadoop, per esempio, viene regolarmente mantenuto e sponsorizzato da Google. Questo contributo è chiaramente fondamentale per l'avanzamento del progetto, una disponibilità economica permette di allocare sviluppatori direttamente al progetto, senza che però esso venga privatizzato. I progetti in esame fanno tutti parte di questo caso, la motivazione principale di questa scelta ricade sulla differente gestione dello sviluppo, una costante e regolare progettazione permette di generare una reportistica più precisa e fruibile dai sistemi di statistica. L'origine open di questi progetti porta un ulteriore vantaggio, essendo fruibili da tutti, una maggiore quantità di interessati ne potranno fruire, essendo una comunità specifica, chi farà utilizzo di tale progetti facilmente si impegnerà anche nel segnalare errori e malfunzionamenti dello stesso permettendo una efficiente gestione delle problematiche. Chiaramente la segnalazione di questa anomalie sarà gestita in maniera prefissata con la compilazione di appositi form, griglie di valutazione e tante altre informazioni strutturare le quali

andranno a fare della nostra analisi. Tutte queste caratteristiche si rivela di gran supporto alla causa, sfortunatamente però sono anche fonte di problematiche che, in progetti privati, non emergerebbero. Un utente che non si occupa direttamente dello sviluppo di un progetto potrebbe andare a riportare una problematica in modo erraneo, per esempio, ciò che un utilizzatore potrebbe riportare come un errore del sistema in realtà si potrebbe rivelare un errore nell'utilizzo dello stesso, tutto ciò andrebbe ad aggiungere disturbo alla nostra analisi. Valutando per esempio la durata in giorni delle issue, riporta in figura 5.1, si può facilmente evincere come i valori siano mal distribuiti, il numero di issue aperte e chiuse nel giro di 48 ore è elevatissimo, circa il 20% del totale, questo per quanto riportato sopra. La figura

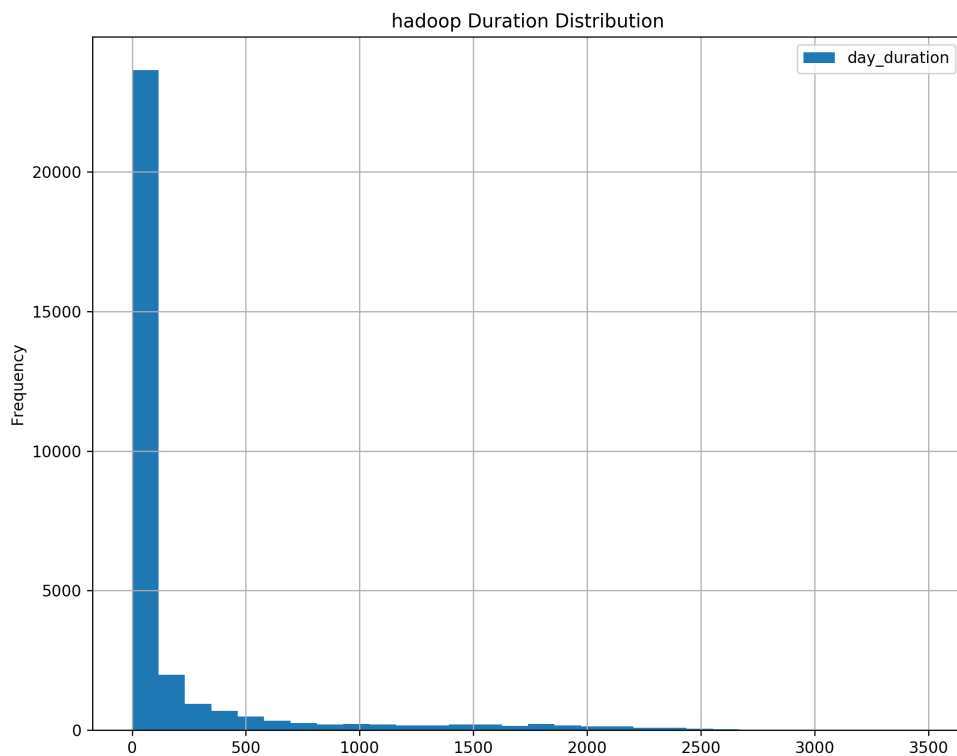


Figura 5.1. Distribuzione della durata in giorni delle issue

5.2 visualizza le circa 8000 di 39000 issue aperte risolte nelle prime 48 ore dalla loro apertura. Altra grande problematica è costituita da issue che non hanno avuto

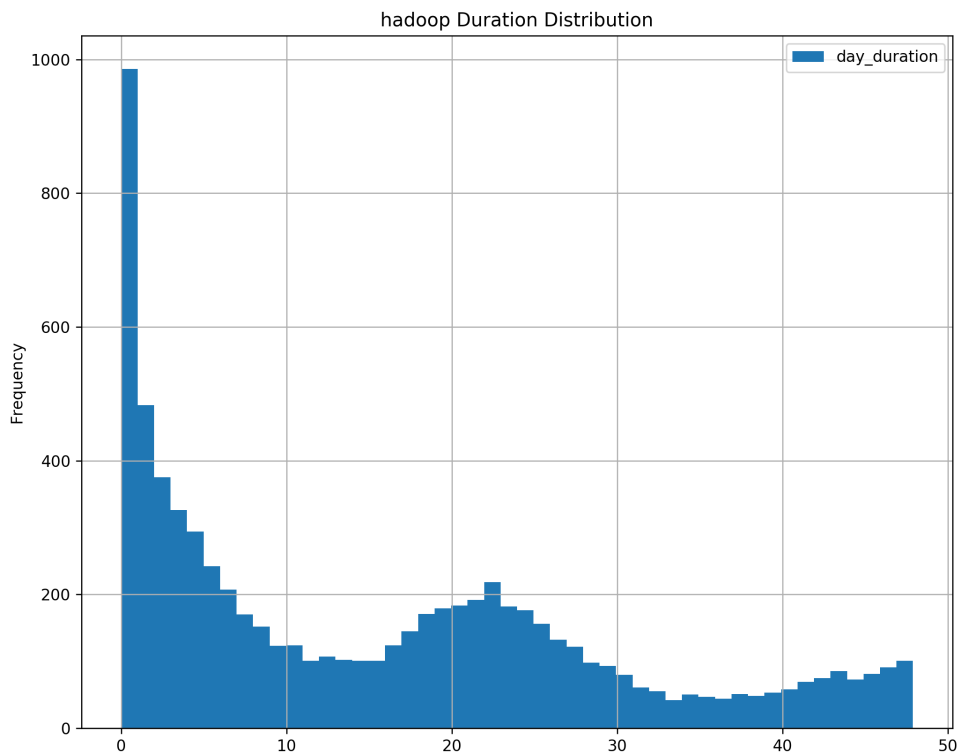


Figura 5.2. Distribuzione della durata in ore nelle prime 48h

nessuna data di chiusura, non sempre è possibile risolvere una issue, ma spesso non è un problema di risoluzione quanto un problema di comprensione del problema. I canoni dello sviluppo richiedono che ogni problematica venga risolta prima della consegna della versione definitiva, questo significa che tutte le issue vanno risolte. Per evitare quindi di aggiungere rumore ai nostri dati si è deciso di considerare solamente le problematiche risolte perchè le uniche realmente di valore all'interno del processo di sviluppo. Sono stato considerati quindi solo in casi in cui il campo status è stato marcato con *closed* o *Resolved* e il campo resolution a *fixed*. Ulteriore

filtro è stato posto sulla tipologia di problematica riportata, sono stati considerati solamente le issue marcate con il type *Bug*, si è analizzato come molte delle altre etichette vengano spesso posticipate portando a tempi di risoluzione veramente poco sensati. Tutti questi filtri, riassunti nel seguente pezzo di codice:

```
def filter2(df_init):  
    df = df_init.copy()  
    df = df[(df['type'] == 'Bug')]  
    df = df[(df['close_dt'].isna() == False)]  
    df = df[((df['status'] == 'Closed')  
             & (df['resolution'] == 'Fixed'))  
            | ((df['status'] == 'Resolved')  
              & (df['resolution'] == 'Fixed'))]  
  
    return df
```

hanno portato una riduzione del circa 60% del numero di issue, passando quindi da 30.000 a circa 10.000. Questa riduzione non ha portato sbilanciamenti tra gli altri parametri.

Il rilascio di un progetto è normalmente strutturato in versioni, solitamente catalogato tra major e minor, nella preparazione di questi dati si è optato per la divisione in versioni dei singoli file, ciò permetterà successivamente di gestire la fase di allenamento in diverse modalità, come vedremo nel capitolo 6. In figura 5.3 è possibile visualizzare il conteggio di issue attive, ovvero ancora da risolvere quindi aperte, lungo il periodo di tutte le versioni con la loro differente allocazione temporale lungo tutto il periodo dello sviluppo.

L'ultimo step fondamentale, distribuito in vari punti a livello di processo, è quello riguardante l'aggregazione dei dati. I dati all'interno della base dati non hanno una organizzazione temporale, l'unità centrale di tutto è la singola issue, chiaramente le informazioni temporali sono presenti, sia di apertura che di chiusura. L'utilizzo dei dati in questa forma era inconcludente, senza distribuzione temporale le fasi di

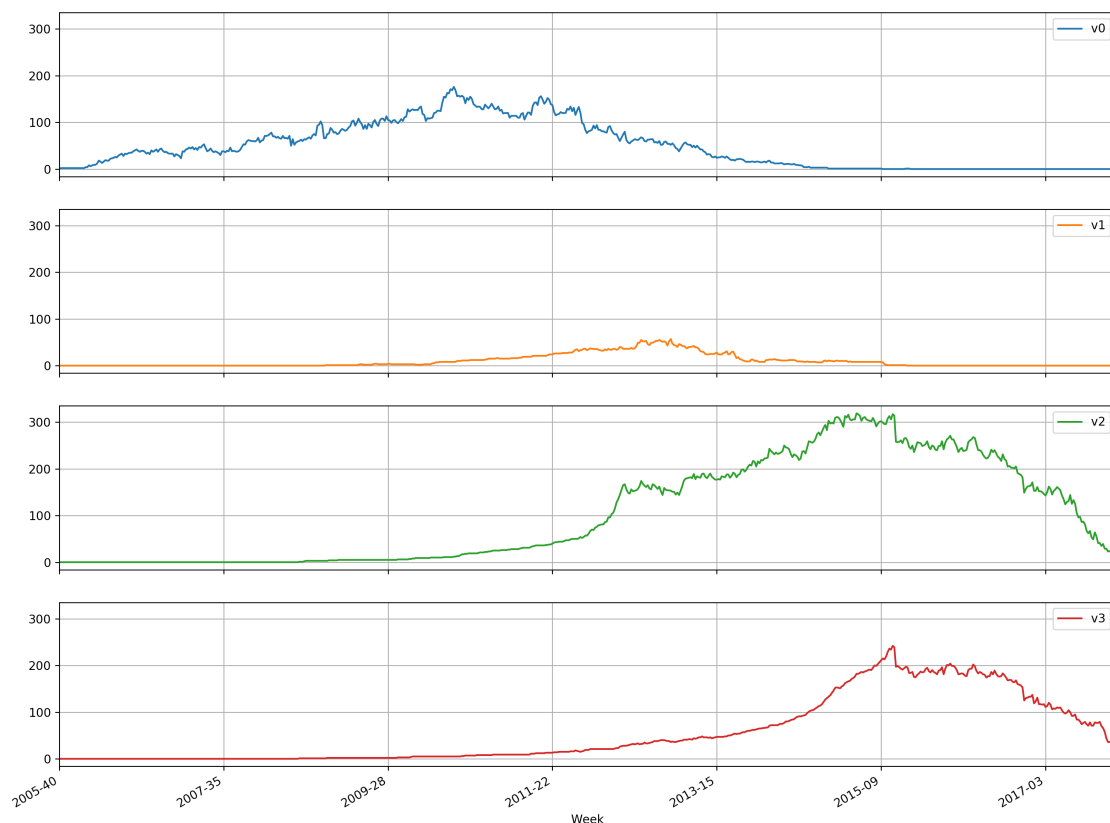


Figura 5.3. Conteggio del numero di issue attive per ogni versione

rilascio di nuove versioni o di grossi errori introdotti potrebbero a picchi e false informazioni a livello di dati. Dopo attenta analisi riguardanti durata, tipologia e distribuzione si è optato per l’aggregazione settimana-anno, questa opzione è stata scelta in modo da limitare i problemi dell’analisi giornaliera con conseguente aumento dei dati, senza però perdere tutte le informazioni in caso di aggregazione più elevata come quella mensile. Questa aggregazione ha permesso pure di risolvere il problema della settimana lavorativa, così facendo i giorni feriali non generano problematiche. Mantenere, oltre alla settimana, l’anno permette di avere una distribuzione temporalmente sensata, senza la sovrapposizione di dati ed informazioni. Chiaramente i differenti orizzonti di previsione saranno gestiti a livello settimanale.

La funzione implementante tutte le scelte descritte in questo paragrafo è la seguente:

```
def version_forecast_file(dataset)
```

l'esecuzione di essa permetterà di estrarre file per ogni versione e per ogni finestra temporale definita.

5.2 Estrazioni base

Il primo step di questa procedura utilizza la query più complessa e si occuperà dell'estrazioni di molti parametri, già parzialmente aggregati che verranno utilizzati successivamente per l'estrazioni di informazioni più complesse.

La funzione *make_component_change_clean(dataset)* dello script ha il compito, attraverso una serie di query annidate di estrarre alcuni dati utili alla generazione dei file finali. Nello specifico i parametri estratti saranno:

- Data di modifica
- Componente interessato dalla modifica
- Linee variate (differenza tra aggiunte/rimosse/modificate)
- Numero di commit
- Resolution
- Status
- Effort

Tutti questi parametri verranno successivamente utilizzati per estrarre informazioni più complesse. Il parametro effort invece, calcolato come:

$$\text{effort} = \text{authors} * 0.8 + \text{commit_count} * 0.15 + |\text{line_change}| * 0.05 \quad (5.1)$$

è stato estratto ma poi successivamente scartato perchè poco esplicativo del lavoro realmente necessario nella risoluzione della problematica emersa. L'eliminazione di grossi file portava ad un enorme sbalzo nel numero di linee modificate.

L'estrazione più grande viene effettuata tramite la query:

```
SELECT *  
FROM issue , issue_fix_version  
WHERE issue.issue_id = issue_fix_version.issue_id  
      AND fix_version LIKE '{}%'
```

questa estrazione verrà poi filtrata secondo le precedenti disposizioni, verrà inoltre utilizzata come base per la creazione del DataFrame temporale, tramite la sua minore e la sua massima data presente. Nonostante l'elevato numero di informazioni, a seguito del filtraggio dei dati, non tutte le settimane presentavano variazioni di problematica attive, per questo motivo è stato necessario effettuare una unione tra il DataFrame contenente tutte le issue ed un ulteriore DataFrame generato partendo dalla prima data e arrivando fino all'ultima data contenuta nel DF issue. Così facendo si è potuto ottenere un set con le informazioni distribuite su un lasso di tempo continuo e senza passaggi mancanti, il codice utilizzato è il seguente:

```
# GET ALL THE WEEK IN THE TIME SLICE  
min_date = issue[ 'open_dt' ].min() . date ()  
max_date = issue[ 'close_dt' ].max() . date ()  
  
all_date = pd.date_range( start=min_date , end=max_date ,  
                          freq='D' )  
  
all_date = pd.DataFrame( all_date )
```

```
all_date['w'] = all_date[0].dt.strftime('%Y')
               + '-'
               + all_date[0].dt.strftime('%W')

all_date = all_date.drop([0], axis=1)
all_date = all_date.drop_duplicates(keep='last')
```

5.3 Estrazioni complesse

Alcune delle informazioni utilizzate dal nostro modello necessitano di un processo di estrazione più complicato, suddiviso sia in una parte a livello DB sia in parte a livello script Python.

Borsa di parole componenti modificati alla base dell'apertura di una issue vi è una motivazione, il modulo per riportare queste problematiche è solitamente predefinito in modo da guidare più facilmente lo sviluppatore e permettergli di riprodurre la problematica. Una volta trovata la problematica è buona norma segnalare il componente o comunque circoscrivere la problematica ad una zona e non a tutto il progetto. La base dati utilizzata presenta una tabella, direttamente collegata a quella delle issue, con il nome *issue_component*. Questa tabella correla la issue direttamente ad un componente del progetto. Una delle feature estratte si basa proprio su questa connessione, si è deciso di aggiungere una serie di informazioni legate ai componenti più utilizzati ed il numero di issue facenti riferimento ad esso per ogni settimana. Queste informazioni sono state ottenute sfruttando le borse di parole, bag of words in inglese, una tecnica molto usata nell'elaborazione del linguaggio naturale. La tecnica permette di tenere traccia di parole e la loro frequenza rispetto un qualsiasi tipo di aggregazione. Nel nostro caso i file verranno strutturati nel seguente modo, oltre a presentare le varie informazioni, vi saranno

al più dieci colonne facenti riferimento ai dieci componenti più utilizzati dove, per ogni riga verrà rappresentato il numero di volte in cui quel componente è stato considerato parte della issue per quella settimana. La tabella 5.1 esemplifica il concetto esposto.

Tabella 5.1. Borsa di parole

week	...	security	fs	hdfs	fs-s3	...
04-2017	...	1	5	0	0	...
05-2017	...	0	2	1	1	...
06-2017	...	3	0	0	8	...
07-2017	...	2	0	1	6	...

Il processo di estrazione di queste informazioni è stato effettuato utilizzando una funzionalità della libreria di Sci-Kit, CountVectorizer, il processo svolto come segue:

```
def word_recognition(df_cols):
    additional = frozenset()
    stop_words = text.ENGLISH_STOP_WORDS.union(additional)
    vect = CountVectorizer(lowercase=True,
                           preprocessor=None,
                           analyzer='word',
                           stop_words=frozenset(stop_words),
                           max_features=max_features)

    X = vect.fit_transform(df_cols)
    return pd.DataFrame(X.todense(),
                        columns=vect.get_feature_names())
```

si occupa di rimuovere, nel caso in cui siano presenti, tutte le stop word ovvero quelle parole che vogliamo filtrare prima che vengano trattate dal sistema, esisto molti dizionari già presenti, è possibile personalizzarli. Successivamente calcolerà la frequenza di ogni parola e tramite apposite trasformazioni sarà possibile ottenere le colonne come visualizzato in tabella.

L'inserimento di tutte queste informazioni tuttavia non ha introdotto grandi vantaggi in termini di risultati addirittura, in alcuni casi, si è rivelata negativa. In qualsiasi caso è stata una opzione interessante da valutare, la sorgente dei problemi poteva probabilmente essere collegata alla difficoltà di risoluzione degli stessi, probabilmente in progetti più piccoli questo parametro può rivelarsi più importante.

Seniority facilmente traducibile come esperienza dello sviluppatore, è una informazione aggregata che ha lo scopo di definire l'esperienza, relativa al progetto, di uno specifico sviluppatore. Per ogni issue risolta corrisponde uno o più commit, ogni commit ovviamente viene eseguito da uno sviluppatore, ogni sviluppatore ha iniziato ad occuparsi del progetto a partire da una specifica data, nel nostro caso si è scelta la data del primo commit. Combinando opportunamente queste informazioni tra di loro è stato possibile definire questo valore nominato seniority. L'idea alla base è che ogni sviluppatore, mano a mano che si occupa del progetto, oltre a maturare una certa esperienza personale, matura anche una esperienza specifica del progetto, conseguentemente dovrebbe essere per lui più semplice individuare e risolvere i problemi. La feature creata correla il momento temporale dello sviluppo con la seniority a quel tempo di quel preciso sviluppatore. Chiaramente questo processo è sensato fintanto che il contributo da parte dello sviluppatore è costante, i contributori del mondo open source vengono quindi facilmente trascurati in questo conteggio.

Una volta estratti tutti i dati necessari e calcolata la seniority vera e propria viene aggregata per settimana prima di essere unita al resto delle informazioni già esistenti. La computazione vera e propria è semplice ed, somma in maniera pesata il numero di giorni dal primo commit al numero di commit effettuati.

L'aggiunta di questo parametro non ha portato molte variazioni durante la previsione.

Severity il presente elaborato cerca di sviluppare un modello statistico in grado di prevedere l'andamento di un fenomeno nel tempo. Il fenomeno in esame dovrebbe descrivere l'andamento della difettosità. Occorrere chiarire questo concetto, il termine difettosità, scelto per la sua brevità, non è un semplice valore rappresentante il mero conteggio delle problematiche attive in uno specifico momento dello sviluppo, rappresenta molto di più quasi come se fosse una sorta di sforzo necessario al fine di riuscire correttamente a risolvere la problematica. Per poter meglio comprendere la questione è necessario capire come viene calcolata.

Ogni issue è caratterizzata da una etichetta di *priority*, come già accennato nel capitolo 3, queste cinque etichette: *critical*, *major*, *blocker*, *minor* e *trivial* dovrebbero rappresentare la priorità, assegnata dallo sviluppatore che sta gestendo la richiesta. Inizialmente si era optato per definire questi valori a tavolino senza nessuna valutazione, i valori, ordinati per priorità erano rispettivamente:

Tabella 5.2. Valori numeri priorità

Critical	Major	Blocker	Minor	Trivial
50.0	10.0	2.00	1.00	0.50

Le performance del modello erano comunque elevate. La ricerca a livello di letteratura non ha avuto grande riscontro, queste etichette, se ben molto comuni non sono standard quindi non sempre vengono utilizzate in questo modo. Oltretutto questa base dati non presenta nessuna ricerca correlata, ad oggi, quindi non vi sono nemmeno valori di confronto.

Una più attenta, seppur semplice, valutazione ha permesso di notare come non vi fosse una grandissima correlazione tra tempo di risoluzione e priorità della issue, si è deciso quindi di optare per una differente traduzione della etichetta. Si è deciso di scegliere il valore dinamicamente per ogni progetto, usando il valore medio della distribuzione, per ogni etichetta, del tempo di risoluzione della issue. Prendendo in esame il progetto *hadoop*, le distribuzioni di ciascuna etichetta sono visualizzate

in figura 5.4, nel titolo viene anche visualizzato il valor medio della distribuzione. Normalizzando il valore medio di ciascuna etichetta rispetto a tutte le altre è pos-

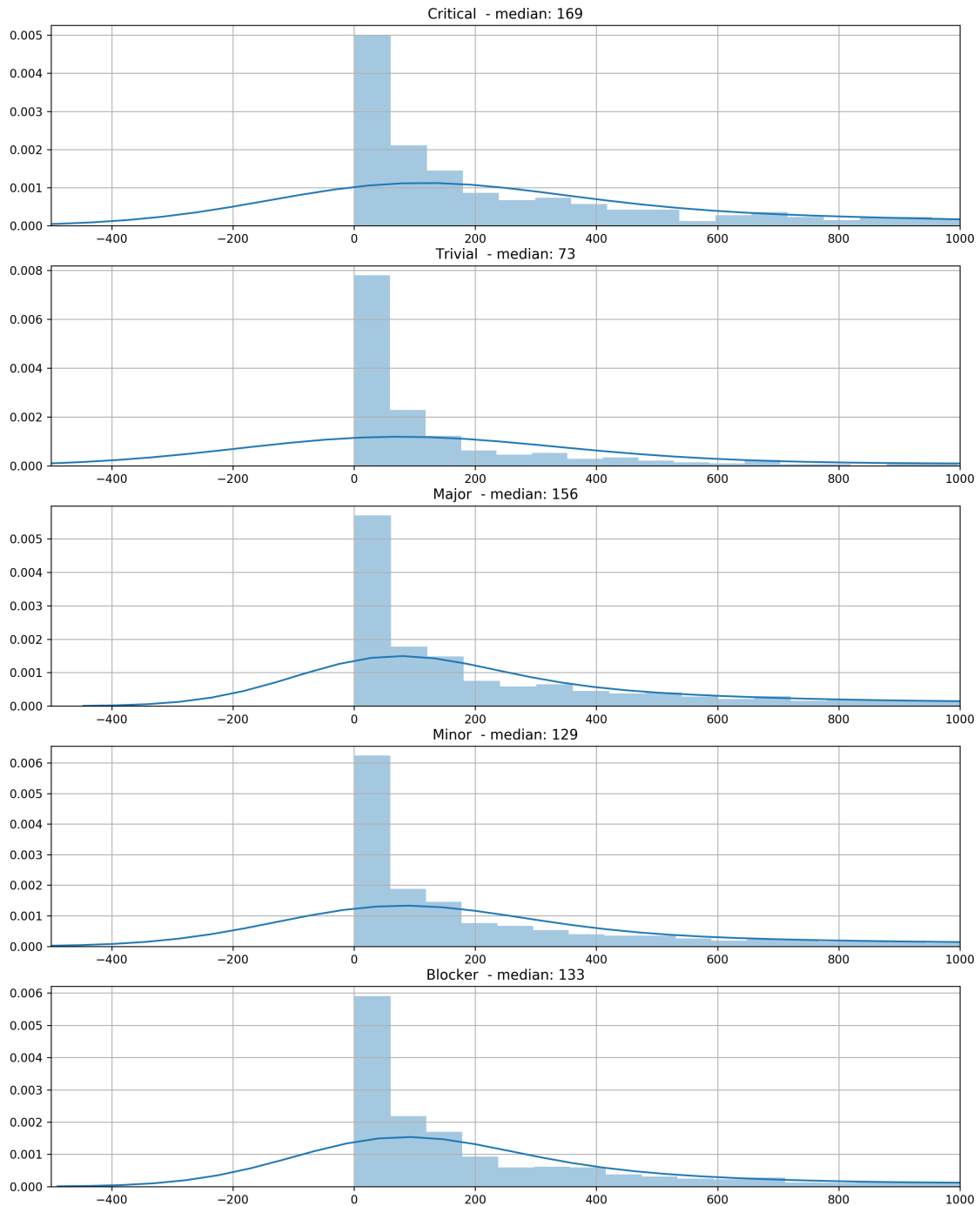


Figura 5.4. Distribuzione durata per etichetta di priorità

sibile ottenere il rapporto reciproco, questo valore verrà poi applicato per tradurre le etichette testuali. Utilizzando questo valore si ottiene una sorta di sforzo medio necessario alla risoluzione di problematiche di quella priorità. La distribuzione è stata calcolata su un dataset leggermente ristretto, sono state filtrate tutte le issue con un tempo di risoluzione inferiore ai 60 minuti (1h) o con un tempo maggiore di 6 mesi (4320h). Con la nuova formulazione i valori di traduzione diventerebbero:

Tabella 5.3. Valori numeri priorità con distribuzione

Critical	Major	Blocker	Minor	Trivial
26.0	24.0	20.0	11.0	20.0

Ovviamente ogni progetto avrà valori differenti. La sostituzione delle etichette non ha richiesto particolari implementazioni ed è stata svolta a livello di script Python. L'utilizzo di questa modalità di traduzione ha portato ad un miglioramento nelle prestazioni del modello.

Questo parametro appena calcolato svolgerà la funzione di target, il valore quindi da predire, rispetto ai file generati. Volendo valutare la predizione su differenti orizzonti temporali, nello specifico: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 30, 40 e 52 settimane. Per ogni settimana verrà calcolato la severity delle nuove issue aperte, moltiplicando il numero di issue per ogni categoria di priorità, per il valore definito dall'analisi, stesso calcolo viene fatto per le issue in chiusura, calcolando quindi la differenza tra questi due valori verrà definita la severity delle issue attive in quella settimana. Questo parametro diventerà il valore oggetto della predizione. Per generare i diversi lassi temporali verrà semplicemente applicato uno scambio di riga uguale al numero di settimane su cui sviluppare la predizione.

In concomitanza di questa informazione verrà aggiunta quella del conteggio di issue attive.

Trend matematici una qualsiasi previsione è fortemente dipendente dal comportamento del fenomeno nei momenti antecedenti alla valutazione. Esistono innumerevoli formulazioni matematiche per descrivere l'andamento di una curva. Nel nostro caso sono stati estratti alcuni parametri per informare la rete riguardo all'andamento tenuto. Chiaramente questi valori sono direttamente correlati al target ovvero il valore che intendiamo prevedere nel nostro sistema, la severity, e si riferisco ad essa:

- *exp_avg*: media di tutti i valori precedenti a quel momento
- *mov_avg2*: media delle due settimane antecedenti a quella in esame
- *mov_avg4*: media delle quattro settimane antecedenti a quella in esame
- *1before*: valore della settimana precedente
- *2before*: valore di due settimane prima
- *4before*: valore di quattro settimane prima

Il calcolo di questi valori è stato effettuato sfruttando le funzionalità contenute in Pandas, sfruttando principalmente i metodi: *df.expanding()*, *df.rolling()* e *df.shift()*. Introduzione di questi parametri si è rivelata fondamentale nell'aiuto del modello, la relazione logica è facilmente comprensibile, la rimozione di questi parametri porta al crollo quasi totale del modello.

Capitolo 6

Predizione

Capitolo 7

Conclusioni

Speaking about conclusion.

Bibliografia

- [1] M. Rath, P. Mäder, “The SEOSS 33 Dataset — Requirements, Bug Reports, Code History, and Trace Links for Entire Projects” in *Data in Brief*, v. 25, p. 104005, 05 2019. [Online]: <https://doi.org/10.7910/DVN/PDDZ4Q>
- [2] M. Denil, de Freitas, in “Narrowing the Gap: Random Forests In theory and In Prattice”
- [3] “Random Forest and its implementation.” [Online]: <https://towardsdatascience.com/random-forest-and-its-implementation-71824ced454f>
- [4] A. Natekin, A. Knoll, “Gradient boosting machines, a tutorial” in *Frontiers in Neurorobotics*, v. 7, p. 21, 2013. [Online]: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnbot.2013.00021>
- [5] C. W. John McGonagle, George Shaikouski, *et al.*, “Backpropagation.” [Online]: <https://brilliant.org/wiki/backpropagation/>
- [6] S. Hochreiter, J. Schmidhuber, “Long Short-term Memory” in *Neural computation*, v. 9, pp. 1735–80, 12 1997. [Online]: <https://dl.acm.org/doi/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- [7] C. Olah, in “Understanding LSTM Networks” 8 2015. [Online]: <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>