



Computer Vision & analisi video per la sicurezza industriale

Caso d'uso nel settore Minerario

Una società russa di estrazione del carbone possiede numerose miniere, estrazione di superficie a cielo aperto, impianti di lavorazione e altre risorse necessarie per garantire la produzione e la lavorazione continua del carbone.

La società fa parte di un grande Gruppo, quotato alla Borsa di Londra.

Questo documento descrive il caso di studio di una soluzione implementata da Orange Business Services per monitorare le attività umane in ambienti di lavoro pericolosi. Anche se nello specifico discutiamo le sfide affrontate nelle miniere di carbone, questa stessa soluzione può essere applicata a qualsiasi settore in cui l'attività dei dipendenti si svolga in condizioni di lavoro difficili o pericolose, e dove il monitoraggio sia fondamentale per motivi di salute e sicurezza.

Questo caso di studio copre tre aree principali:

- sfide e necessità del cliente
- descrizione della soluzione, con gli innovativi modelli di Machine Learning (ML) sviluppati
- vantaggi e benefici per il cliente

Le Sfide del Cliente

Esposte alla minaccia di incendi, inondazioni, esplosioni e crolli, le miniere sono un ambiente pericoloso per i lavoratori. In aggiunta, le condizioni ambientali sono disagioli (calore, umidità...). Le aziende minerarie, quindi, devono creare un ambiente di lavoro sicuro che protegga i lavoratori e garantisca che le operazioni non vengano interrotte. È possibile evitare molti rischi supervisionando la condotta dei dipendenti e facendo applicare le regole di sicurezza.

Prima dell'implementazione di questo progetto, il personale addetto alla sicurezza monitorava i flussi video dalle telecamere situate nelle miniere per garantire il rispetto delle regole. Tuttavia, questo approccio presentava diversi svantaggi:

- La mancanza di una classificazione unica degli incidenti, perché ogni agente che visualizza i flussi video riportava determinate violazioni a propria discrezione.
- Molti eventi venivano trascurati, perché per una persona risulta impossibile elaborare tutti i flussi video contemporaneamente.

- La mancanza di un unico database con informazioni sulle violazioni conduceva a risposte circostanziali, e non consentiva di identificare gli eventi ricorrenti ed evidenziare i problemi ai responsabili delle decisioni.
- La difficoltà di installare più telecamere per coprire un'area più estesa perché questo richiede più personale per visualizzare i flussi video, aumentando i costi e determinando un'ulteriore incoerenza negli approcci alla risoluzione delle violazioni.

Ad Orange Business Services è stata richiesta una soluzione che aiutasse a ridurre al minimo gli incidenti sul lavoro e ridurre le possibili perdite causate da violazioni delle norme di sicurezza.

Il cliente era alla ricerca di una soluzione che utilizzasse la Computer Vision e l'analisi video per migliorare la supervisione della sicurezza eseguita fino a quel momento manualmente. La società voleva inoltre aumentare il numero di telecamere per estendere l'area geografica di supervisione.

Un altro elemento importante per il cliente era la possibilità di realizzare una prova di fattibilità di analisi video, con l'intento di identificare casi d'uso aggiuntivi per la tecnologia che si apprestava ad acquisire.

Prerequisiti

Possiamo identificare due categorie di prerequisiti:

1. Elementi periferici che “catturano” i dati da analizzare:

- Telecamere di videosorveglianza (standard) per monitorare il processo di produzione, registrare le violazioni e adottare misure preventive, in modo da ridurre le violazioni e rispettare i requisiti di sicurezza industriali
- Sensori che registrano le informazioni su energia elettrica e pressione dell'acqua dai macchinari per lo scavo di tunnel e per la pulizia.

2. Elementi fondamentali della soluzione:

- Una *computer room* in ogni miniera per ospitare il *video server* e il server di analisi della soluzione, che deve trovarsi in prossimità delle telecamere per motivi di latenza dei flussi video
- Un *data center* in una posizione opportuna per il cliente (ad esempio nella sede centrale) dove ospitare i server che raccolgono le informazioni già elaborate presso ogni miniera
- Connettività tra le periferiche e i server nelle miniere
- Connettività tra il data center centrale e le miniere

Sfide

Per identificare più violazioni possibile, Orange Business Services ha dovuto affrontare la questione della stabilità dei flussi video. I dati, in particolare quelli catturati dai video, sono piuttosto sensibili ai disturbi ed in una miniera possono essere influenzati da più fattori tra i quali:

- Frequenti interruzioni nei canali di comunicazione
- Sporcizia sull'obiettivo della telecamera

- Le telecamere possono essere installate su macchine in movimento, quindi lo sfondo è sempre diverso
- Il video viene registrato nello spettro degli infrarossi, al buio, a causa della mancanza di una buona illuminazione
- Le torce frontali dei minatori possono “accecare” le telecamere
- Dipendenti o terze parti possono manomettere le telecamere per nascondere comportamenti scorretti e situazioni non tollerate

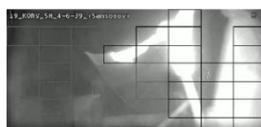
In condizioni così difficili, i modelli di analisi video standard disponibili sul mercato non funzionano. Inoltre, l'affidabilità del trasporto dati dai sensori di acquisizione (come le telecamere) al sistema di elaborazione è fondamentale, ed è per questo che Orange Business Services ha deciso di utilizzare una soluzione completamente distribuita basata sulle capacità dei server locali (“Working Node on premise”) per l'elaborazione iniziale dei dati in prossimità degli strumenti di “cattura”: infine, questi server locali si collegano al Master Node remoto nei data center per la visualizzazione dei dati e la loro analisi.

Le immagini sottostanti illustrano alcuni casi rilevati in cui lavoratori o terze parti intervengono manualmente per impedire l'acquisizione di immagini della fotocamera. In una modalità di osservazione “umana” queste azioni potrebbero passare inosservate, ma non con questa soluzione, che genera immediatamente un allarme.

A camera is obscured



Images before camera being obscured



Fixing the moment of obscuring



Event recorded 10 minutes after obscuring

A camera is turned away



Images before camera being turned away



Fixing the moment of turning away

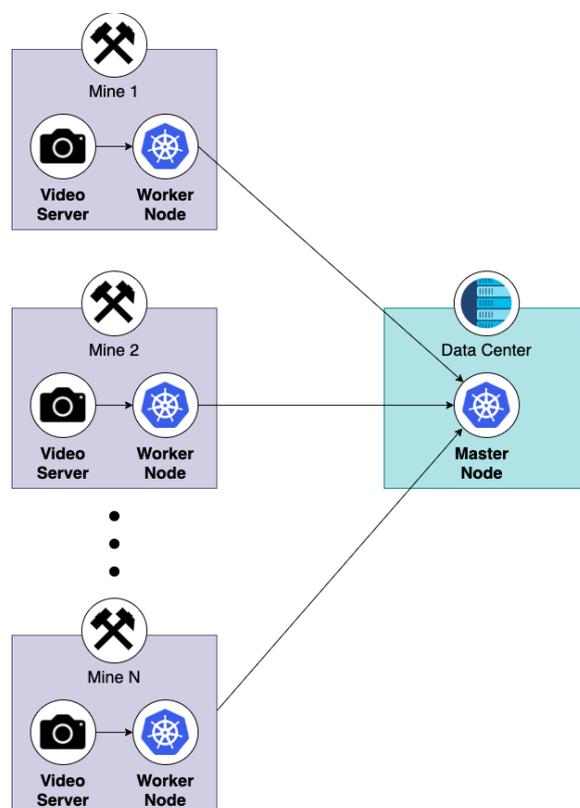


Event recorder after the end of turning away

Architettura Implementata

Orange Business Services ha scelto un'architettura a microservizi, che sfrutta anche tecnologie open-source, non per ragioni economiche - come si potrebbe pensare - bensì per scalabilità: è un sistema completamente flessibile in grado di soddisfare ogni nuova esigenza del cliente. Il problema chiave che il nostro team doveva risolvere era relativo all'enorme quantità di dati video in streaming dai sistemi di sorveglianza, che devono essere elaborati con bassa latenza in tempo reale e con un impatto minimo sui servizi e sulla rete del cliente. Inoltre, la società nostra cliente gestisce miniere che distano decine di chilometri l'una dall'altra, e la qualità della connessione non è sempre soddisfacente. Per soddisfare tutti questi requisiti, abbiamo deciso di costruire un sistema distribuito ed eseguire i nostri modelli di Machine Learning sui cosiddetti “nodi di lavoro” situati il più vicino possibile ai server di sorveglianza - proprio nelle miniere – trasferendo quindi invece al server

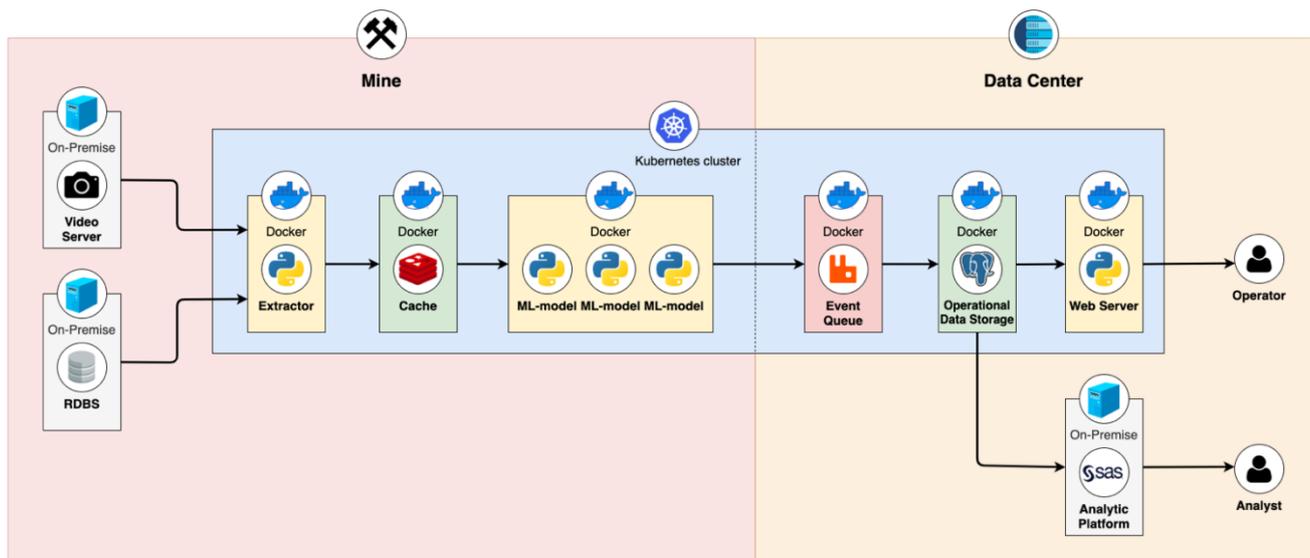
principale (Master Server), situato nel data center ad alta disponibilità, solo le informazioni più essenziali sugli incidenti rilevati. Di conseguenza, siamo stati in grado di creare un solido sistema scalabile che crea un sovraccarico minimo sull'infrastruttura del cliente.



Al fine di costruire una piattaforma in cluster, con un punto di controllo unificato per tutte le componenti del sistema, con la capacità di bilanciare le risorse, gli sviluppatori Orange hanno scelto di eseguire le applicazioni in container Docker, gestiti dal servizio di orchestrazione Kubernetes. Questo approccio aiuta a separare i componenti hardware dal software, e rende possibile scalare efficacemente il sistema semplicemente aggiungendo nuovi server in caso di aumento del numero di telecamere o per qualsiasi nuovo servizio aggiuntivo. Per mantenere l'infrastruttura a microservizi abbiamo deciso di utilizzare per questo progetto uno stack solido e maturo che include Prometheus/Grafana/AlertManager per il monitoraggio, ed Elasticsearch/Logstash/Kibana per la registrazione.

Per creare una solida pipeline di dati, abbiamo dovuto dividere il flusso dei dati in due parti:

- Nodi di lavoro: qui si preparano le informazioni sul "data event", l'estrazione ad alto carico, la trasformazione e il processo di previsione del modello ML, che richiede basse latenze tra la ricezione delle immagini e la fase di previsione del modello
- Master Node nel Data Center: processo di aggregazione, che raccoglie gli eventi generati dai modelli da tutte le miniere e li carica nell'archivio dati



La prima parte della pipeline dei dati si trova nella miniera e include estrattori gestiti da Python che caricano dati da varie fonti (server video e database relazionali) nella hot cache, archiviata nel “*in-memory database*” di Redis. Quindi, i modelli ML raccolgono i dati e generano incidenti in base al tipo di modello. Gli incidenti generati vengono caricati nella coda degli eventi eseguita dal broker di messaggi RabbitMQ.

La seconda parte della pipeline di dati viene elaborata dal master server presso il data center, che fornisce un'infrastruttura ad alta disponibilità e funge da leader del cluster. Il broker di messaggi RabbitMQ raccoglie gli incidenti da tutte le miniere e li carica nel database relazionale PostgreSQL per archiviare i dati continuamente. Di conseguenza, il server web con dashboard in tempo reale rappresenta le statistiche e gli incidenti attuali in tutte le miniere per gli operatori e la piattaforma analitica SAS Viya consente di effettuare analisi cronologiche complete con tutte le funzionalità dello strumento di Business Intelligence (BI).

Modelli di Machine Learning

Abbiamo implementato due tipi di rilevatori di anomalie per soluzioni ML in cattive condizioni di ripresa video.

Il primo tipo di rilevatori di anomalie può registrare immediatamente i problemi e mostrare le statistiche di funzionamento della telecamera monitorando automaticamente la stabilità del video. La stabilità e la pulizia della telecamera sono elementi importanti per la successiva identificazione delle violazioni di sicurezza. Per questo motivo, abbiamo sviluppato rilevatori di anomalie basati su ML e sulla classica Computer Vision (CV) per stabilizzare l'immagine video, come ad esempio:

- Rilevatore di occlusione della telecamera, che permette di capire quando un oggetto o la polvere di carbone ostruiscono la visuale della telecamera
- Rilevatore di riflesso della telecamera, che permette di capire quando la visuale della telecamera è ostruita da una sorgente luminosa puntata sull'obiettivo

- Discriminatore del punto di vista della telecamera (o dell'angolo della telecamera), che consente di determinare se la telecamera è puntata correttamente per registrare le violazioni
- Rilevatore di rotazione della telecamera, che cattura i momenti in cui la telecamera viene girata e quindi non importa che cosa si trovi davanti a essa
- Altri...

Il secondo tipo di rilevatori di anomalie può identificare problemi e rilevare violazioni di sicurezza, come ad esempio:

- Persona in zona pericolosa: le zone pericolose cambiano dinamicamente ed è fondamentale capire in quale zona ciascun operatore si trovi in un particolare momento
- Controllo ed esecuzione delle operazioni obbligatorie dopo il completamento del ciclo di lavoro della talpa meccanica - permette di capire se i minatori hanno portato a termine le operazioni richieste dalle norme per prepararsi alle mansioni successive
- Conformità di sicurezza per l'attrezzatura: controlla se le persone sono vicine o a bordo della talpa meccanica quando è in funzione
- Controllo della disponibilità dei sistemi di fissaggio: consente di capire quando i minatori trascurano le norme di sicurezza e violano le norme sulla produzione di carbone

La gestione degli incidenti viene effettuata in tempo reale utilizzando reti neurali profonde sia per il rilevamento di oggetti che per la segmentazione delle immagini. La pipeline di addestramento viene implementata in PyTorch e quindi le reti salvate sono impiegate per creare un motore inferenziale utilizzando la libreria TensorRT. È importante notare che i rilevatori implementati consentono non solo di determinare violazioni della sicurezza, ma anche di trovare problemi sistemici nel funzionamento di una particolare sezione della miniera e, di conseguenza, di intervenire per risolvere la situazione.

Questi esempi mostrano come funzionano i modelli:



Utilizzo della Soluzione

La soluzione sostituisce il monitoraggio continuo dei flussi video da 100 telecamere con un cruscotto che visualizza gli incidenti in tempo reale. Un allarme istantaneo viene inviato al controllore, i cui compiti includono contattare la miniera, segnalare il problema e monitorare l'intervento di riparazione. Le informazioni statistiche vengono portate all'attenzione del responsabile dei dipendenti e sono controllate dal manager.

НАИМЕНОВАНИЕ КАМЕРЫ	СОСТОЯНИЕ КАМЕР			ВИДЕО
	ЗАКРЫТА / ЗАГРЯЗНЕНА	ОТВЕРНУТА	НЕТ СВЯЗИ	
1_В.Ш.48-8 фланг_(8)_Т6057_014_076	●	●	●	
1_В.ук.пл.45_(6)_Т6037_016_063	●	●	●	
2_Лава 48-7 (тунель ПТК)_(1)_Т6022_150_016	●	●	●	
2_Лава 48-7 (сопр.с ВШ 48-7)_(1)_Т6027_015	●	●	●	
2_Лава 48-7 (перес. ПТК/ЛК)_(1)_Т6083_016	●	●	●	
2_Лава 48-7 (175 секция)_(1)_Т6027_015	●	●	●	
2_Лава 48-7 (сопр. с КШ 48-7)_(1)_Т6022_016	●	●	●	
1_ФВНС пл.45/48_(5)_Т6012_058_030	●	●	●	
2_Лава 48-7 (10 сек.от ВШ48-7)_(1)_Т6027_015	●	●	●	
1_В.Ш.48-8 фланг_(8)_Т6057_014_076	●	●	●	
1_В.ук.пл.45_(6)_Т6037_016_063	●	●	●	
2_Лава 48-7 (тунель ПТК)_(1)_Т6022_150_016	●	●	●	
2_Лава 48-7 (сопр.с ВШ 48-7)_(1)_Т6027_015	●	●	●	

Benefici per il Cliente

Il sistema, così come implementato oggi, offre diversi vantaggi:

- La registrazione, la classificazione e la conservazione continua di tutte le violazioni consentono al cliente di raccogliere e analizzare i dati, oltre a fornire ai manager le informazioni statistiche e le dinamiche dei cambiamenti nel tempo, per prendere decisioni volte a migliorare gli indicatori di sicurezza industriale. Nei primi 2 mesi di utilizzo della soluzione, il "tempo di infrazione" è diminuito costantemente
- Il monitoraggio online degli eventi, e la visualizzazione sullo schermo del controllore degli incidenti che richiedono risposta immediata, aiuta a rilevare più violazioni della sicurezza, diminuendo il numero di incidenti e infortuni sul lavoro.
- Il sistema implementato consente al cliente di aumentare il numero di flussi video analizzati mediante ridimensionamento orizzontale. Questo permette di aumentare il numero di telecamere e la copertura del monitoraggio video aggiungendo 200 telecamere senza che questo si traduca in un carico di lavoro aggiuntivo e senza apportare modifiche al sistema
- Il sistema può funzionare facilmente con i sistemi di acquisizione video standard (riduzione dei costi utilizzando risorse già esistenti) perché è in grado di massimizzare l'affidabilità e l'interpretazione dei dati acquisiti

Costi del Progetto e Tempistiche

Il progetto è iniziato nell'Ottobre 2020. La consegna della prova di fattibilità (Proof of Concept) è avvenuta nel dicembre dello stesso anno. L'utilizzo operativo della soluzione è iniziato nel Marzo 2021, e la durata totale del progetto - descritto sopra - è stata quindi inferiore a 6 mesi.

Il costo della soluzione di Orange Business Services è stato di circa 250.000 euro. Il software non viene fornito su licenza, ma come costo del progetto di sviluppo una tantum.

Costi aggiuntivi: i costi dell'infrastruttura e del software esistente sono esclusi dai costi sopra menzionati in quanto il cliente non li ha condivisi, ma laddove venisse richiesto Orange Business Services è in grado di offrire una soluzione completa chiavi in mano.

Prossimi Passi

In termini di piani futuri per questa soluzione specifica, il team si concentrerà sul miglioramento della qualità del sistema e sull'aumento del valore per il cliente introducendo funzionalità aggiuntive come:

- Ricerca di nuove fonti di dati che possano aiutare a migliorare la qualità dei modelli ML e sviluppo di algoritmi in grado di rilevare tipi più complessi di incidenti e, di conseguenza, aiutare a ridurre il carico sui dipendenti e informare su incidenti che sono molto difficili da rilevare mediante revisione video manuale
- Espansione del sistema, aggiungendo nuovi "Worker Nodes" per poter elaborare più telecamere e aiutare gli operatori nelle miniere a lavorare in modo più efficiente
- Supporto a diversi tipi di siti del cliente (magazzini, fabbriche, ecc.), anch'essi classificati come ambienti di lavoro pericolosi

Inoltre, implementeremo l'integrazione bidirezionale con il sistema di monitoraggio dei rischi operativi del cliente, così da essere in grado di elaborare gli eventi segnalati nella stessa pipeline con i sistemi di rilevamento dei rischi del cliente, al fine di informare i responsabili dei dipendenti, valutare i rischi e indagare sugli incidenti sistematici per evitare per quanto possibile che emergano nuovi eventi. L'integrazione aggiungerà le seguenti funzionalità:

- Capacità di creare automaticamente eventi di rischio (da un modello ML) o manualmente (da un operatore) con tutti i dati richiesti e analizzarli con una funzionalità completa del sistema di monitoraggio operativo del rischio
- Arricchimento dei BI dashboard di sicurezza con una prospettiva storica e il collegamento a potenziali perdite finanziarie e i schemi ripetitivi trovati, estratti dal database degli eventi di rischio

La nostra soluzione di Machine Learning, da connessa ad intelligente

