



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

## EneaMonitor: sistema di monitoraggio per soluzioni off-site construction

G. Campobello, F. Battaglia, N. Donato, S. Serrano



Università  
degli Studi di  
Messina  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

Report RdS/PTR2021/165

## ENEAMONITOR: SISTEMA DI MONITORAGGIO PER SOLUZIONI OFF-SITE CONSTRUCTION

Autori: G. Campobello, F. Battaglia, S. Serrano, N. Donato (UNIME)

Dicembre 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: N. 1 - Tecnologie

Progetto: 1.6 - Efficienza energetica e dei prodotti e dei processi industriali

Work package: 2 - Miglioramento dell'efficienza energetica di processi di produzione e di gestione dell'ambiente costruito

Linea di attività: LA2.11 - Sviluppo di strumenti di visualizzazione ed elaborazione dati

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti

Responsabile del Work package: Maria-Anna Segreto

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Sviluppo di una piattaforma ICT per soluzioni Off-Site Construction finalizzate alla riqualificazione energetica degli edifici"*

Responsabile scientifico ENEA: Maria-Anna Segreto

Responsabile scientifico Dipartimento di Ingegneria Università di Messina: Salvatore Serrano

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DI VIDEOREGISTRAZIONE PER COSTRUZIONI .....	5
2 ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI VIDEOREGISTRAZIONE .....	7
2.1 ZONEMINDER.....	8
2.2 ALGORITMI DI COMPRESIONE VIDEO .....	12
2.3 IL CLIENT ENEAMONITOR .....	14
2.3.1 <i>L'interfaccia principale di EneaMonitor</i> .....	15
2.3.2 <i>I monitor panel</i> .....	16
2.3.3 <i>Il pannello degli strumenti</i> .....	19
2.4 ZMEVENTVIEWER.....	21
2.4.1 <i>L'interfaccia di login di ZMEventViewer</i> .....	21
2.4.2 <i>L'interfaccia principale di ZMEventViewer</i> .....	22
2.4.3 <i>I monitor panel</i> .....	23
2.4.4 <i>Pulsante DumpToOutput</i> .....	24
2.4.5 <i>Pulsante Configure</i> .....	27
2.5 GATEWAY PER TERMOCAMERE .....	29
3 POSIZIONAMENTO DELLE VIDEOCAMERE .....	31
3.1 NOTAZIONE E DEFINIZIONI.....	31
3.2 CALCOLO DELLA MINIMA DISTANZA AMMISSIBILE .....	34
3.3 CALCOLO DELLA MASSIMA DISTANZA AMMISSIBILE .....	35
3.4 CALCOLO DELLE MASSIME DIMENSIONI DI UN OGGETTO.....	35
3.5 CALCOLO DELLA LUNGHEZZA FOCALE .....	36
3.6 IL TOOL DISTANCEEVALUATIONXLSX .....	37
4 DIMENSIONAMENTO DELLO STORAGE.....	38
5 APPENDICE A: CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE CAM UTILIZZATE .....	40
6 BIBLIOGRAFIA.....	42

## Sommario

Il presente rapporto tecnico descrive l'architettura di un sistema di monitoraggio video sviluppato per verificare le condizioni pre-, in- e post- installazione di soluzioni off-site construction finalizzate alla riqualificazione energetica degli edifici. Il sistema, denominato EneaMonitor, è stato progettato e sviluppato in collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina e l'Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), nell'ambito del Piano Triennale della Ricerca del Sistema Elettrico Nazionale 2019-2021 (PTR 2019-2021), approvato dal Ministero dello Sviluppo Economico.

Il rapporto è organizzato come segue:

- nella Sez.1 sarà descritto lo stato dell'arte dei sistemi di videoregistrazione per costruzioni, analizzando i limiti delle soluzioni esistenti e le motivazioni che hanno portato alla realizzazione di EneaMonitor;
- nella Sez.2 si descriverà l'architettura del sistema di acquisizione video realizzato;
- nella Sez.3 si introdurrà un modello analitico utilizzato per determinare la posizione ottimale delle cam; nella stessa sezione sarà descritto un tool, basato sul modello suddetto e implementato mediante fogli di calcolo, che permette di automatizzare tutti i calcoli necessari;
- nella Sez.4 si descriverà il processo di dimensionamento dello spazio di archiviazione.

## 1 Stato dell'arte dei sistemi di videoregistrazione per costruzioni

Negli ultimi anni, i sistemi di monitoraggio delle costruzioni (*on-site construction monitoring*) sono stati usati sempre più frequentemente allo scopo di rendere più efficiente il processo di costruzione di un edificio, migliorare la qualità costruttiva finale, ridurre i consumi energetici e assicurare il rispetto dei requisiti di costruzione imposti dalle normative vigenti. Questi sistemi in molti casi permettono anche di ridurre il costo complessivo dell'opera, grazie alla riduzione dei tempi morti, alla riduzione dello spreco di materiale ed alla prevenzione degli incidenti o altre situazioni di rischio che possono verificarsi durante il normale funzionamento del cantiere [SITEBUILD0].

Per tale ragione, diverse società hanno sviluppato dei complessi framework commerciali che consentono di eseguire il monitoraggio delle attività di cantiere, quali ad esempio PlanRadar [SITEBUILD7] e Rapid Deployment Security Solution di OTS SmartTech [SITEBUILD8], che consentono rispettivamente di ridurre i costi tramite un'ottimizzazione del flusso di lavoro (*PlanRadar*), e la rilevazione di situazioni di pericolo in cantiere e la segnalazione automatica di allarmi (*RD Security Solution*). Tali framework integrano sistemi di videosorveglianza con centri di elaborazione dati gestiti dalle stesse società produttrici.

Un'importante limitazione di queste soluzioni è data dal costo elevato, soprattutto se utilizzate per singole costruzioni prototipali, come nel caso del progetto in oggetto. Inoltre, la fase di elaborazione delle immagini catturate dalle videocamere è svolta in remoto presso il centro di calcolo delle società fornitrici del framework sulla base di algoritmi e funzionalità che, in genere, non sono personalizzabili dal cliente. Questo fa sì che tali framework non siano adatti quando si vogliono analizzare aspetti costruttivi diversi da quelli previsti dalle società produttrici. In particolare, i tool suddetti non sono adatti al monitoraggio dei parametri energetici degli edifici.

Altre aziende, come Leica Geosystems [SITEBUILD9], si sono specializzate in monitoraggio di siti costruttivi per mezzo di dispositivi come droni, detti anche UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Queste soluzioni sono adatte per monitorare l'avanzamento della costruzione di un edificio, una strada o un'altra infrastruttura oppure lo spostamento di terra o di veicoli da lavoro nel cantiere, ma non sono adatte per analisi di tipo energetico.

Altri framework per il monitoraggio on-site delle costruzioni sono stati sviluppati esclusivamente come proof-of-concept e, malgrado siano trattati nella letteratura scientifica, non sono mai stati resi disponibili al pubblico, né come software open-source né come prodotto commerciale [SITEBUILD0] [SITEBUILD1] [SITEBUILD2][SITEBUILD3][SITEBUILD4][SITEBUILD5][SITEBUILD6].

Alcune delle soluzioni suddette sono poi finalizzate principalmente ad ottenere un migliore coordinamento dei soggetti coinvolti nella realizzazione di un'opera, al fine di ridurre i costi complessivi tramite riduzione dei tempi di lavorazione e degli sprechi di materiale.

Ad esempio, il framework proposto in [SITEBUILD0] svolge tre funzioni: monitoraggio del sito costruttivo, organizzazione dei compiti (*task*) tra le imprese e gli operatori (*site workers*) e condivisione delle informazioni in tempo reale. Quest'ultima funzione permette di trasmettere in multicast un'immagine di un sito costruttivo, prelevata da una videocamera CCD e correlata di informazioni sui costi e le scadenze, consentendo la condivisione in rete da parte di utenti diversi. L'accesso alle informazioni è possibile anche tramite smartphone.

Nel sistema descritto in [SITEBUILD6] vengono utilizzate foto del sito costruttivo prese dall'alto tramite UAV e da terra in tempi diversi, per ricostruire un modello in 3D dell'avanzamento dei lavori della struttura. Questo modello viene visualizzato su un casco 3D, ed arricchito con informazioni BIM (Building Information

Model [BIM00]). I dati visualizzati sono integrati con la struttura costruttiva, che viene visualizzata in background, realizzando così un vero e proprio sistema di realtà aumentata.

In altri framework viene fatto uso di sofisticati algoritmi di elaborazione delle immagini, basati su tecniche *feature-matching* (come SIFT [SIFT00] o SURF [SURF00]) o su reti neurali come Mask R-CNN [MASKRCNN], che vengono usati allo scopo di identificare la posizione di alcuni specifici elementi del cantiere inquadrato. Successivamente, vengono usati degli algoritmi di *object-tracking* (come DeepSort [DEEPSORT]) allo scopo di rilevare eventuali movimenti dell'oggetto identificato in funzione del tempo. La funzione principale di tali sistemi è il rilevamento di condizioni di pericolo nel cantiere o la registrazione degli stati di avanzamento dell'opera in funzione del tempo.

Ad esempio, il sistema di monitoraggio proposto in [SITEBUILD2] è stato progettato allo scopo di rilevare, dall'immagine di un cantiere acquisita tramite videocamera, la posizione dei workers, degli equipaggiamenti e dei veicoli di lavoro. Quando la distanza reciproca tra questi elementi è inferiore ad una certa soglia, viene attivato un allarme ed inviata una notifica ad un centro di controllo. Il sistema è stato progettato al fine di ridurre gli incidenti sul lavoro, partendo dall'idea che la vicinanza oltre ad una certa soglia di un lavoratore ad un macchinario, o ad un veicolo di lavoro, sia una condizione che può favorire gli infortuni. Algoritmi di elaborazione delle immagini in grado di rilevare la presenza di personale non esperto o non autorizzato in corrispondenza di particolari aree critiche del cantiere sono stati usati anche nelle soluzioni proposte in [SITEBUILD4][SITEBUILD5], sempre allo scopo di ridurre il rischio di incidenti.

Il framework proposto in [SITEBUILD1] è in grado di ricavare un modello 3D di un oggetto partendo da diverse inquadrature prese da videocamere poste in punti diversi. Successivamente, viene eseguito un algoritmo di tracking su tutto il flusso video, determinando la posizione e la velocità dell'oggetto. Il sistema è in grado di riconoscere mezzi di lavoro (come camion, trattori ecc.), personale presente nei cantieri (dagli indumenti indossati) o strumenti di lavoro (come secchi e cilindri idraulici). Non esiste però una versione commerciale del sistema. Inoltre, il framework è stato ideato per rilevare oggetti 3D che si muovono all'interno del cantiere, ma non per il monitoraggio di oggetti fissi e planari quali pareti, finestre e altri elementi comunemente presenti nell'involucro di un edificio.

Il sistema di monitoraggio proposto in [SITEBUILD3] è stato progettato allo scopo di riconoscere, all'interno dell'immagine di un cantiere, elementi come muri di cemento prefabbricati, registrando l'evoluzione della costruzione di ogni piano della struttura in funzione del tempo.

Tutte queste soluzioni non supportano videocamere ad infrarossi ed in generale non sono state realizzate per il monitoraggio dei parametri energetici di un edificio. Inoltre, come detto precedentemente, sono soluzioni commerciali molto costose o soluzioni sperimentali (proof-of-concept) non disponibili come prodotti commerciali.

Per tali ragioni, si è deciso di sviluppare per il progetto ENEA un'architettura di monitoraggio dedicata, che possa essere personalizzata sulla base delle necessità del progetto e che possa integrare facilmente gli strumenti funzionali ad eseguire analisi di tipo energetico. L'architettura è stata progettata tenendo conto delle seguenti specifiche funzionali:

- essere completamente basata su software open-source;
- non richiedere l'utilizzo di data center esterni o la stipula di contratti di servizio con società commerciali;
- supportare l'integrazione di termocamere.

Nelle sezioni successive sarà illustrata in dettaglio l'architettura sviluppata.

## 2 Architettura del sistema di videoregistrazione

Il sistema di monitoraggio video, di seguito descritto e denominato **EneaMonitor**, è basato interamente su software open-source e fornisce tutte le funzionalità necessarie per la registrazione di più flussi video provenienti sia da videocamere IP sia da termocamere a infrarossi. Il sistema permette altresì la rilevazione di eventi (event detection) associati a possibili condizioni di allarme. Il sistema di monitoraggio video realizzato è basato sull'architettura client-server illustrata in Fig. 1.

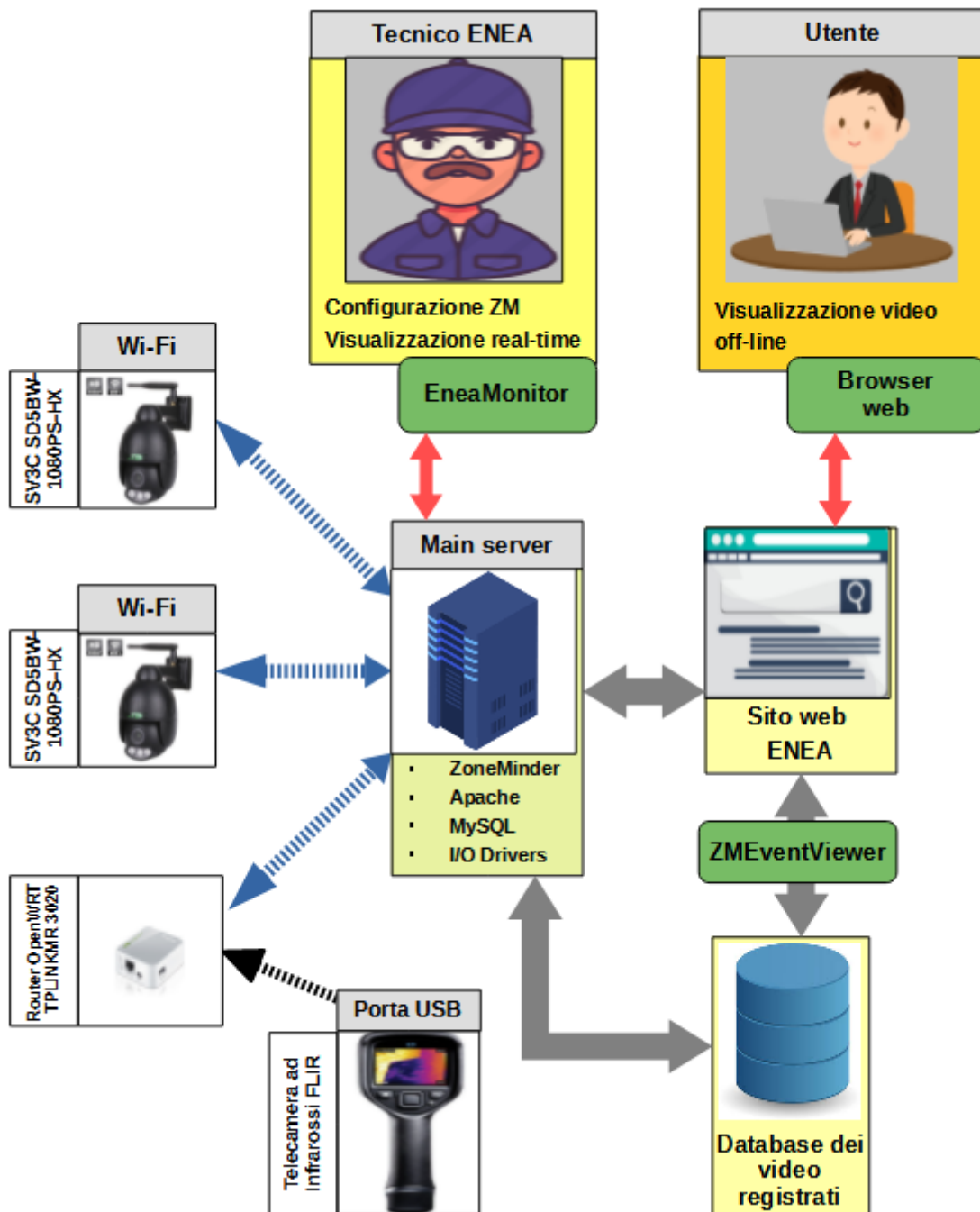


Fig. 1: Architettura del sistema di monitoraggio



Il **main server** in Fig. 1 è basato sul sistema operativo Linux e su ZoneMinder [1] (ZM), un software open-source che supporta l'acquisizione e la registrazione di più flussi video provenienti da dispositivi eterogenei, e in particolare webcam USB e videocamere IP. Il server è stato opportunamente dimensionato e configurato per tenere conto delle esigenze del progetto e permette altresì di gestire streaming e archiviare file video e immagini, anche in formato compresso. Inoltre, è stato realizzato un modulo che consente l'interfacciamento di ZM con termocamere, permettendo così la registrazione di flussi video provenienti relativi ad immagini termografiche alla stregua di flussi video convenzionali.

Le procedure per l'installazione e configurazione del server sono descritte separatamente nel documento "**Manuale di installazione e configurazione del sistema EneaMonitor**".

Nell'ambito delle attività sono state altresì sviluppate due applicazioni: **EneaMonitor** e **ZMEventViewer**.

Il software **EneaMonitor** permette, anche da client remoti, di configurare il sistema di videoregistrazione (risoluzione delle cam, livello di zoom, codec di compressione, ecc.) e di visualizzare in tempo reale gli streaming video, semplificando l'interazione con ZM da parte dell'operatore ENEA.

Il software **ZMEventViewer** permette invece di accedere ai file video precedentemente registrati e di comporre più video per la realizzazione, ad esempio, dei video-tutorial resi accessibili successivamente dal portale web ENEA e relativi alla soluzione off-site construction oggetto del progetto.

Il sistema prevede l'utilizzo di **videocamere IP** ad alta risoluzione. In particolare per la realizzazione del sistema sono state utilizzate cam IP prodotte dalla **SV3C** (<https://sv3c>), modello **SD5BW-1080PS-HX** [2]. Le videocamere possono acquisire video nelle ore diurne e notturne. Inoltre, supportano il protocollo ONVIF che permette di controllare da remoto orientamento e zoom. Possono inoltre essere connesse sia a reti wireless (802.11g/n Wi-Fi) che reti Ethernet. Per maggiori dettagli si rimanda alle specifiche tecniche riportate nell'Appendice A alla fine del documento.

E' inoltre possibile interfacciare videocamere a infrarossi anche senza supporto di rete nativo.

A tal fine è stato necessario sviluppare un gateway che da un lato si interfaccia con la videocamera mediante cavi USB e dall'altro è in grado di trasmettere un flusso video al main server.

In particolare, per il test e la validazione del sistema è stata utilizzata una **termocamera TG267** prodotta dalla **FLIR** (<http://www.flir.it>) e il gateway è stato realizzato con un router **TPLINK MR 3020** [MR3020]. In particolare, sul router TP-LINK è stata installata una versione di **OpenWRT** (<https://www.openwrt.org>) opportunamente modificata al fine di leggere dalla porta USB i frame proveniente dalla termocamera e trasmettere al server un video compresso in formato MJPEG.

Sono di seguito descritti i principali componenti del sistema di videoregistrazione.

## 2.1 ZoneMinder

Per implementare il sistema di videoregistrazione EneaMonitor è stato utilizzato il software open-source ZoneMinder (ZM) [3] versione 1.34.26. Questo software permette di acquisire video da diverse sorgenti quali, ad esempio, webcam collegate localmente tramite USB o camere IP remote in grado di trasmettere in rete il flusso video compresso usando il protocollo RTSP (Real Time Streaming Protocol, [RTSP01]) e supporta le videocamere di oltre 70 produttori [4].

---

<sup>1</sup> Disponibile online al link <https://zoneminder.com>.

<sup>2</sup> Informazioni sull'hardware e la relativa documentazione possono essere rinvenute al link <https://sv3c.com/product-item/sd5bw-1080p-hx/>

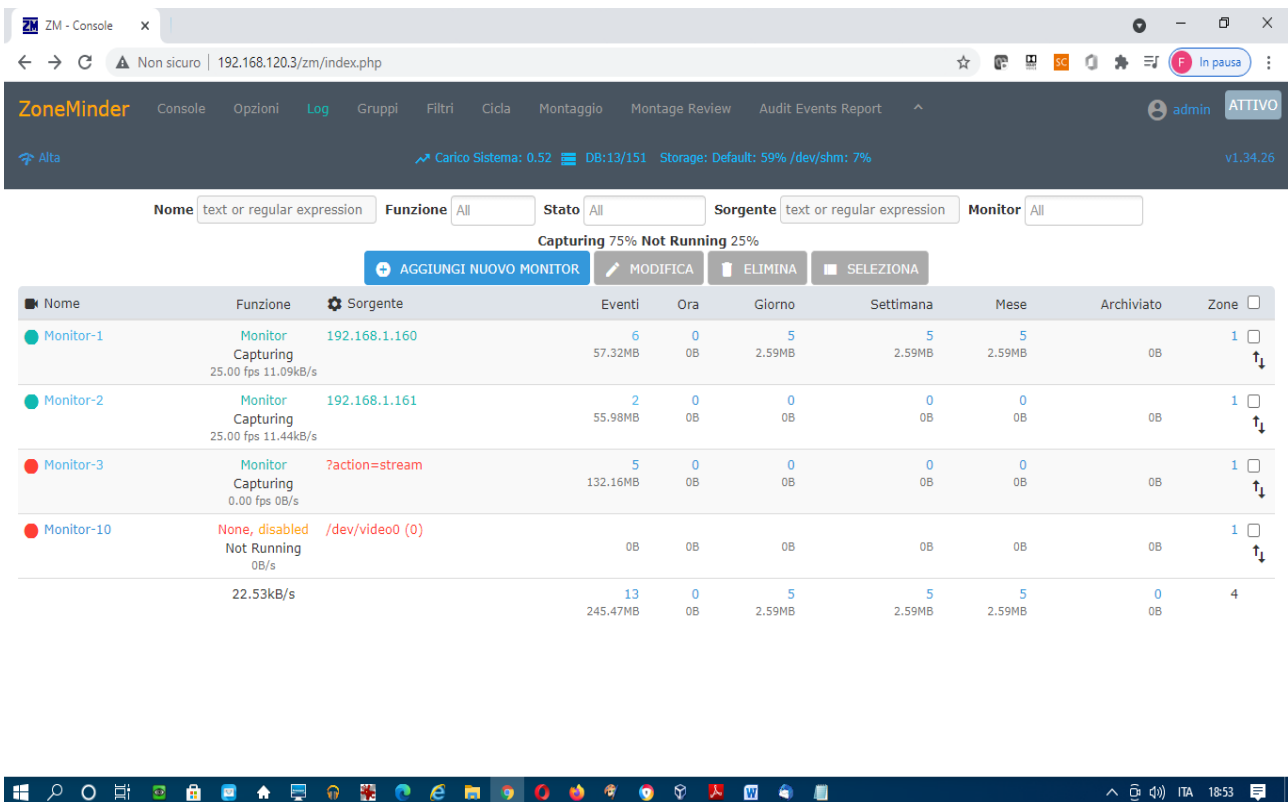
<sup>3</sup> ZoneMinder può essere scaricato al link

<sup>4</sup> L'hardware compatibility list di ZoneMinder è disponibile al link: [https://wiki.zoneminder.com/Hardware\\_Compatibility\\_List](https://wiki.zoneminder.com/Hardware_Compatibility_List)



ZoneMinder può lavorare in diverse modalità selezionabili dall'utente: in modalità *Monitor*, si limita a leggere e visualizzare lo stream proveniente dalla videocamera; in modalità *Record*, invece, lo ZM-Monitor registra il contenuto del flusso video sul disco locale, in modo da consentire ad un operatore di rivedere in un secondo momento quanto avvenuto nell'area inquadrata; nella modalità *Modect (Motion detection)* è possibile utilizzare un algoritmo di motion detection per determinare se c'è stato un cambiamento nel contenuto dell'immagine (*evento*) come, ad esempio, il passaggio di un operatore o di un veicolo di lavoro. A seguito del verificarsi di un evento, ZoneMinder provvede a registrare sul disco un filmato di alcuni secondi successivi all'evento stesso. Questa caratteristica consente di registrare solo una parte del flusso video dove può essere avvenuto un evento di particolare interesse. Infine, nella modalità *Mocord (Motion detection + Recording)* il flusso video viene registrato in modo continuo. Se si verifica un evento, i frame relativi all'evento (detti *alarm frame*) vengono salvati singolarmente come file **.jpg**. Inoltre, vengono registrate data, ora e durata dell'evento rilevato.

ZoneMinder supporta lo standard ONVIF (*Open Network Video Interface Format*) [ONVIF01] che permette di accedere alle funzioni *Pan/Tilt/Zoom*, quando disponibili in una cam, consentendo di regolarne la posizione orizzontale (Pan) e verticale (Tilt) oltre che lo zoom ottico e/o digitale.



The screenshot shows the ZoneMinder web console interface. At the top, there's a navigation menu with options like 'Console', 'Opzioni', 'Log', 'Gruppi', 'Filtri', 'Cicla', 'Montaggio', 'Montage Review', and 'Audit Events Report'. Below the menu, there's a status bar showing system load (Carico Sistema: 0.52), database status (DB:13/151), storage usage (Storage: Default: 59% /dev/shm: 7%), and the version (v1.34.26). The main area displays a table of monitors with various filters and a table of monitor configurations.

Nome	Funzione	Sorgente	Eventi	Ora	Giorno	Settimana	Mese	Archiviato	Zone
Monitor-1	Monitor Capturing 25.00 fps 11.09kB/s	192.168.1.160	6 57.32MB	0 0B	5 2.59MB	5 2.59MB	5 2.59MB	0B	1
Monitor-2	Monitor Capturing 25.00 fps 11.44kB/s	192.168.1.161	2 55.98MB	0 0B	0 0B	0 0B	0 0B	0B	1
Monitor-3	Monitor Capturing 0.00 fps 0B/s	?action=stream	5 132.16MB	0 0B	0 0B	0 0B	0 0B	0B	1
Monitor-10	None, disabled Not Running 0B/s	/dev/video0 (0)	0B	0B	0B	0B	0B	0B	1
	22.53kB/s		13 245.47MB	0 0B	5 2.59MB	5 2.59MB	5 2.59MB	0 0B	4

Fig. 2: Interfaccia di configurazione di ZoneMinder

ZoneMinder fa internamente uso delle librerie FFmpeg [5] per comprimere il flusso video in modo da ridurre la dimensione dei file e le risorse di comunicazione necessarie allo streaming. Sono quindi supportati tutti i formati di compressione previsti da FFmpeg, in particolare **MPEG-4 [ISOIEC\_MP4]**, **H.264 [ISOIEC\_H264]** e **H.265 [ISOIEC\_H265]**. La comunicazione tra il server ZM e le varie videocamere può essere realizzata tramite socket UDP o TCP.

L'accesso alle funzionalità di ZoneMinder è possibile mediante un comune browser per tramite dell'interfaccia web mostrata in Fig. 2.

<sup>5</sup> <https://ffmpeg.org/>

Tuttavia, è supportata anche un'interfaccia RESTful [REST01][ZMREST01], che consente l'accesso alle funzionalità del framework anche ad applicazioni di terze parti. Il software **EneaMonitor**, sviluppato nell'ambito delle attività oggetto del presente report, sfrutta proprio questa interfaccia per permettere la comunicazione client-server ai fini della configurazione di ZoneMinder oltre che per l'acquisizione e gestione dei flussi video, semplificando l'interazione tra operatore e sistema di registrazione.

La Fig. 3 mostra l'architettura interna di ZoneMinder.

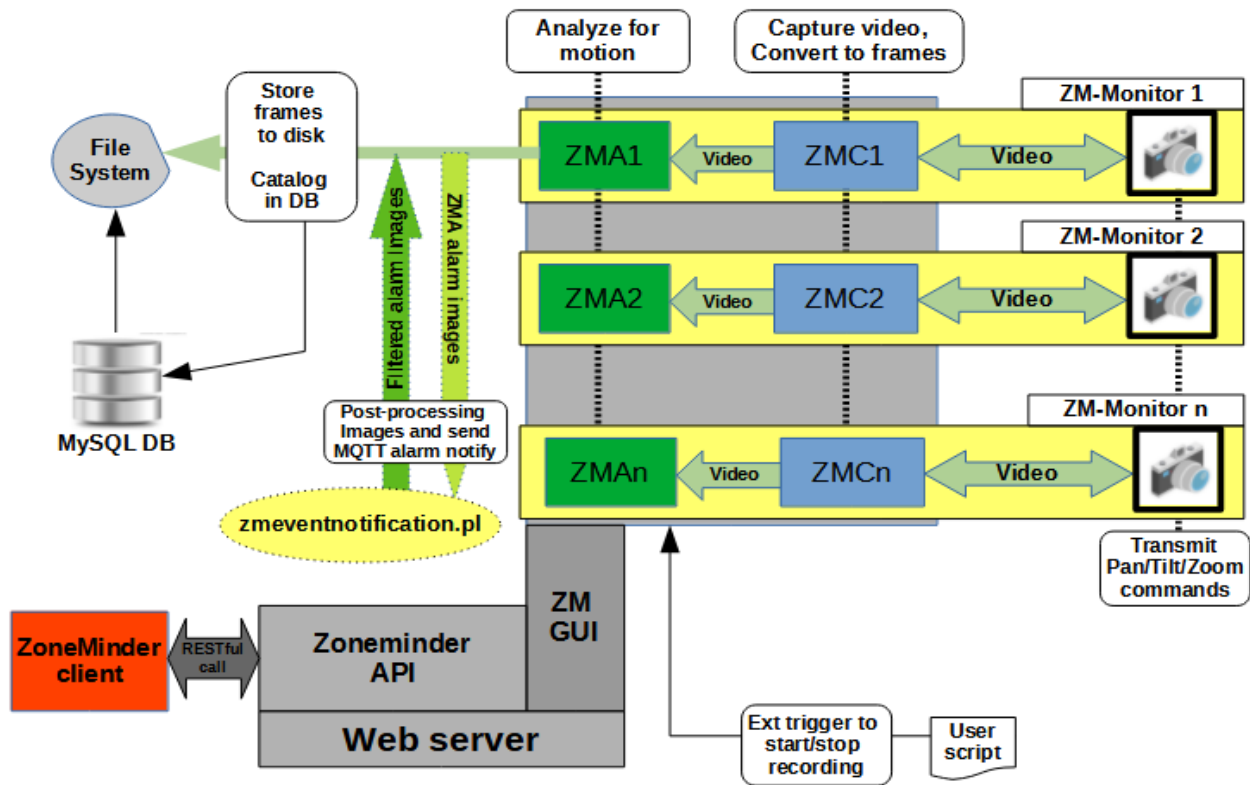


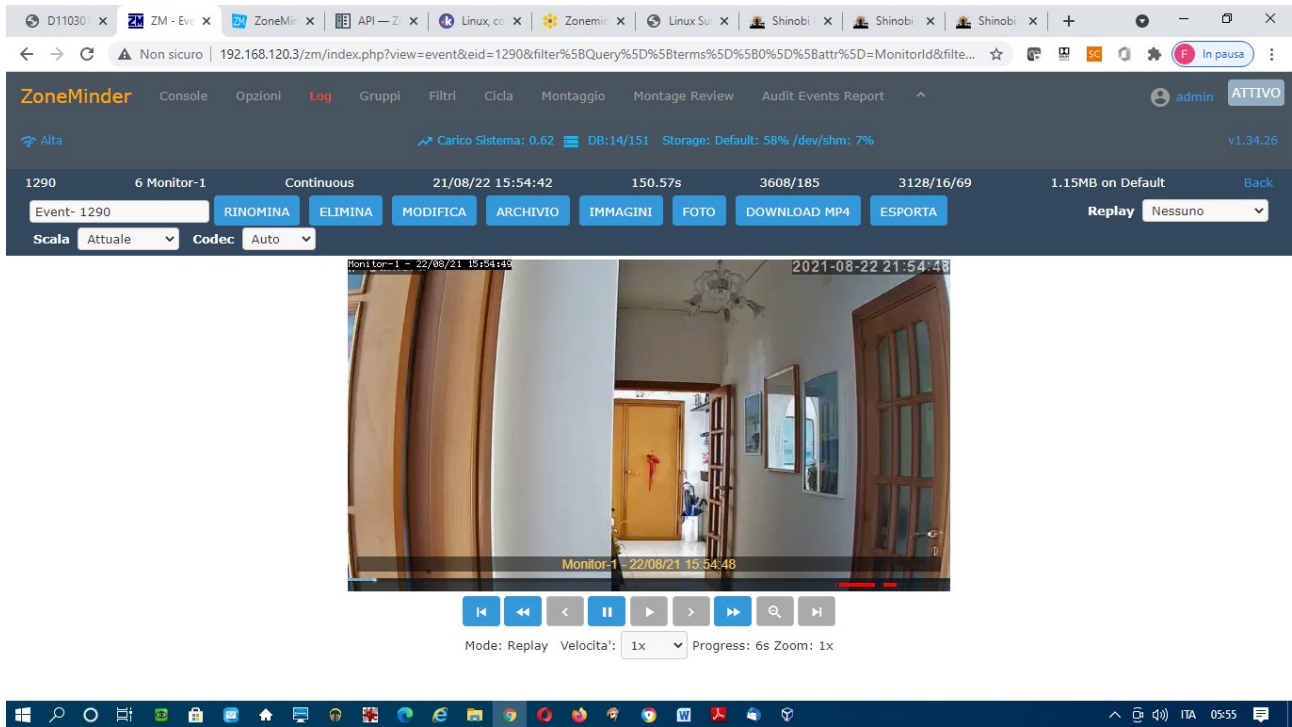
Fig. 3: Architettura software di ZoneMinder

A ciascuna sorgente video è associato un componente denominato **ZM-Monitor** costituito da due processi che girano in background (*daemon*). Il primo processo, chiamato **zmc (ZoneMinder Capture)** si occupa di interfacciarsi con la videocamera, acquisire i dati e decomprimerli, eseguendo eventualmente le necessarie conversioni di profondità colore (16 o 32 bit, YUV o RGB). Il flusso video risultante viene quindi passato al secondo processo, chiamato **zma (ZoneMinder Analyzer)**, che esegue, sulla base delle impostazioni definite in fase di configurazione, l'algoritmo di motion detection. Ciascun frame viene analizzato allo scopo di verificare, confrontandolo con il frame precedente, se ci sono dei cambiamenti significativi nell'immagine, che possono indicare il verificarsi di un evento (ad esempio, se una parte della parete inquadrata è stata ombreggiata in modo significativo o se si è verificato un cedimento strutturale).

ZoneMinder internamente mantiene un database (gestito tramite MySQL), che contiene le impostazioni del sistema, nonché le informazioni relative a ciascun evento registrato (data, ora, durata, numero di videocamera, tipo di filtraggio attivo su ciascuno flusso video). Ogni video relativo ad un evento può essere visionato dall'operatore grazie al viewer integrato (v. Fig. 4).

I file video sono inoltre memorizzati in una cartella dell'hard disk locale (*/var/cache/zoneminder/events*). Tuttavia, ZM può anche memorizzare i file video catturati in un sistema di storage distribuito (*cloud*).

Per il progetto oggetto di questo report si è preferita la prima soluzione per essere indipendenti da servizi cloud esterni.



*Fig. 4: Interfaccia di ZoneMinder per la visualizzazione del flusso video*

Il codice di ZoneMinder è scritto per lo più in linguaggio C/C++. Tuttavia, viene fatto uso anche di alcuni script Perl (.pl). In particolare lo script **zmeventnotification.pl** (Fig. 3) può essere utilizzato per inviare i frame acquisiti dal detector ad un secondo stadio di post-processing il quale può eventualmente eseguire un algoritmo di face o object recognition (ad esempio, per mezzo di librerie come OpenCV [OpenCV01]). Lo script può anche essere usato per inviare ad un client una segnalazione di allarme tramite il protocollo MQTT [MQTT01][MQTT02].

Per ulteriori dettagli sul software ZoneMinder si rimanda alla documentazione [<https://zoneminder.readthedocs.io/en/stable/>]

La scelta di ZM per la realizzazione del server deriva da una attenta analisi dello stato dell'arte dei software esistenti per la realizzazione di sistemi di videoregistrazione e videosorveglianza. Di seguito sono analizzate le soluzioni alternative inizialmente valutate e sono riportate alcune considerazioni atte a giustificare la scelta di ZM quale software per la realizzazione del progetto.

- **Shinobi** [SHINO01]: uno dei software open-source valutati, con caratteristiche molto simili a quelle di ZoneMinder, è Shinobi. A differenza di ZoneMinder, che supporta esclusivamente il sistema operativo Linux, Shinobi è disponibile anche per MacOSX e Windows. Come ZoneMinder, anche Shinobi fornisce un'interfaccia di configurazione accessibile via browser ed un'interfaccia RESTful che può essere utilizzata da applicazioni di terze parti per accedere alla funzionalità del framework. ZoneMinder è però aggiornato più di frequente, il che consente una più rapida risoluzione di possibili bug. Inoltre, la licenza d'uso di Shinobi non consente lo sviluppo di applicazioni commerciali.
- **iSpy** [ISPY01]: anche in questo caso, il software è open-source e supporta un ampio numero di videocamere. A differenza delle due soluzioni precedenti, iSpy è in grado di registrare anche l'audio

acquisito dalle videocamere ma è disponibile esclusivamente per sistemi Windows. Il software inoltre non può essere configurato da remoto.

- **Agent DVR** [AGENT01]: può essere considerata una versione commerciale di iSpy, distribuita dalla stessa società (iSpyConnect), con diverse caratteristiche aggiuntive che lo rendono simile a ZoneMinder ma per le quali occorre una sottoscrizione a pagamento.
- **Blue Iris** [BLUE01]: è un software commerciale per Windows con caratteristiche simili ad Agent DVR. Come iSpy non fornisce un'API RESTful per l'interfacciamento con applicazioni di terze parti. Inoltre, rispetto alle altre soluzioni, la documentazione a supporto è risultata essere di non immediata lettura.

La scelta è quindi ricaduta su ZM essendo un framework gratuito, compatibile col sistema operativo Linux, in grado di supportare applicazioni di terze parti, senza limiti derivanti da licenze o altri costi accessori e che permette la configurazione dell'applicazione anche da remoto.

## 2.2 Algoritmi di compressione video

Alla base dei sistemi di videoregistrazione vi è l'utilizzo di algoritmi di compressione video. In particolare, i codec che provvedono alla compressione (*encoder*) o alla decompressione (*decoder*) vengono usati nelle seguenti fasi:

- **trasmissione del flusso video dalle videocamere IP al server.** Affinché sia possibile la trasmissione del flusso video attraverso reti wireless o wired non a larga banda, le cam IP devono eseguire una compressione dei file video al fine di ridurre sensibilmente la banda necessaria per la loro trasmissione. L'algoritmo di compressione utilizzato dalle cam è in alcuni casi fissato dal firmware della cam stessa mentre in altri casi può essere selezionato mediante apposita interfaccia web messa a disposizione dai produttori;
- **memorizzazione dei video sul disco.** Al fine di ridurre l'occupazione di spazio sul disco, i video possono essere compressi con codec diversi e più efficienti rispetto a quelli usati per la trasmissione. Tale operazione è detta *transcodifica*;
- **trasmissione del flusso video dal server verso i client.** Per poter riprodurre un video compresso si hanno in genere tre opzioni:
  - 1) l'utilizzo di un player multimediale, come ad esempio **VLC** [VLC01], che ha il vantaggio di supportare, grazie all'uso della libreria **libVLC** [LIBVLC01], un ampio numero di codec;
  - 2) l'utilizzo di un browser con supporto **HTML5** [HTML5\_01];
  - 3) l'utilizzo di una applicazione dedicata (*custom*) in grado di richiedere al server uno specifico flusso video.

In tutti e tre i casi la riproduzione dei video è subordinata alla disponibilità dei codec da parte dell'applicazione o del sistema operativo. Nella realizzazione del sistema EneaMonitor si è preferita la terza soluzione, realizzando un'applicazione dedicata che fornisce un'unica interfaccia in grado di riprodurre i flussi video ed interagire con ZM per la configurazione delle cam (operazione non fattibile con un semplice mediaplayer). Inoltre, un'applicazione personalizzata ha il vantaggio, rispetto alla soluzione browser-based, di poter fornire funzionalità non direttamente supportate da ZM.

Esistono diversi codec per la compressione video [CODEC01]. Molti dei codec sono sviluppati da società commerciali (come VP3 [VP3CODEC] o VP8 [VP8CODEC] di On2 Technologies, oppure VP9 [VP9CODEC] di Google Inc.), mentre altri sono frutto del lavoro di società no-profit (come Theora [THEORA01]). Di seguito ci si limiterà a descrivere i codec più comunemente usati per cam IP.

Il codec **MJPEG** (Motion-JPEG) è adatto a dispositivi con una ridotta potenza di calcolo, ed è in genere usato solo per video a bassa risoluzione (es. 320x240 pixel), perché non riesce ad ottenere rapporti di compressione elevati. Il codec comprime ogni frame con l'algoritmo **JPEG** [JPEG01]; i singoli frame compressi vengono trasmessi in successione nel canale.

E' importante osservare che il processo di codifica MJPEG non sfrutta la ridondanza temporale (compressione *interframe*), ovvero le similarità fra due frame successivi, ma esclusivamente la *ridondanza spaziale* (compressione *intraframe*).

Gli algoritmi della **famiglia MPEG** sono stati sviluppati proprio con lo scopo di ridurre sia la ridondanza spaziale che quella temporale, ottenendo un rapporto di compressione notevolmente più elevato rispetto a quello ottenibile con MJPEG.

**MPEG** sta per **Motion Picture Expert Group** ma l'acronimo è utilizzato per identificare i codec rilasciati dal gruppo stesso:

- **MPEG-1** : standardizzato nel 1993 come **ISO/IEC 11172** ("*Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s*") [ISOIEC\_MP1]. E' stato sviluppato allo scopo di consentire la riproduzione di video (e audio) con i bitrate tipici di un Compact Disc (187.5 kB/s). Le specifiche includono anche una sezione per la codifica audio, che corrisponde a quella del popolare standard audio MP3. E' stato usato nel formato Video-CD. E' limitato ad una risoluzione molto bassa: 352x288 pixel con 25 fotogrammi al secondo per lo standard PAL. Non è in grado di comprimere in modo ottimale una sorgente video di tipo interlacciato, come quello proveniente da videocamere analogiche. La qualità raggiunta è molto modesta;
- **MPEG-2** : standardizzato nel 1995 come **ISO/IEC 13818** ("*Generic coding of moving pictures and associated audio information*") [ISOIEC\_MP2]. Nato inizialmente per le trasmissioni televisive via cavo o su satellite e successivamente utilizzato per la distribuzione di film su supporto DVD Video. Aggiunge il supporto di compressione per sorgenti di tipo interlacciato e per alte risoluzioni;
- **MPEG-4** : standardizzato nel 1998 come **ISO/IEC 14496** ("*Coding of audio-visual objects*") [ISOIEC\_MP4]. Include diversi miglioramenti dell'algoritmo di codifica che consentono un netto incremento del rapporto di compressione a parità di qualità visiva a scapito di un aumento della potenza di calcolo necessaria in fase di codifica. Questo standard definisce diversi profili, ognuno dei quali contenente un subset delle nuove caratteristiche di compressione. I più importanti sono:
  - **MPEG-4 Part2** o **Advanced Simple Profile (ASP)** [ISOIEC\_MP4ASP]. Include il supporto per sorgenti video di tipo interlacciato, per i frame bidirezionali, e miglioramenti all'algoritmo di motion estimation. Note implementazioni di questo standard sono **DivX** [DIVX01] e **Xvid** [XVID01];
  - **MPEG-4 Part10** o **Advanced Video Coding (AVC)**. Promette una riduzione di più del 50% del bitrate necessario rispetto ad MPEG-4 Part2. Lo standard è noto anche come **H.264** [ISOIEC\_H264]. Viene usato nei Blue-Ray o per lo streaming web;
- **MPEG-4 High Efficiency Video Coding (HEVC)**: standardizzato nel 2013 come **ISO/IEC 23008-2**. Questo standard è noto anche come **H.265** [ISOIEC\_H265]. Promette di raddoppiare il rapporto di compressione rispetto ad H.264 ed di migliorare la qualità dell'immagine. Supporta risoluzioni fino a 8192x4320 pixel (8K).

Per il progetto oggetto di questo report si è deciso di fare uso dei seguenti standard di compressione:



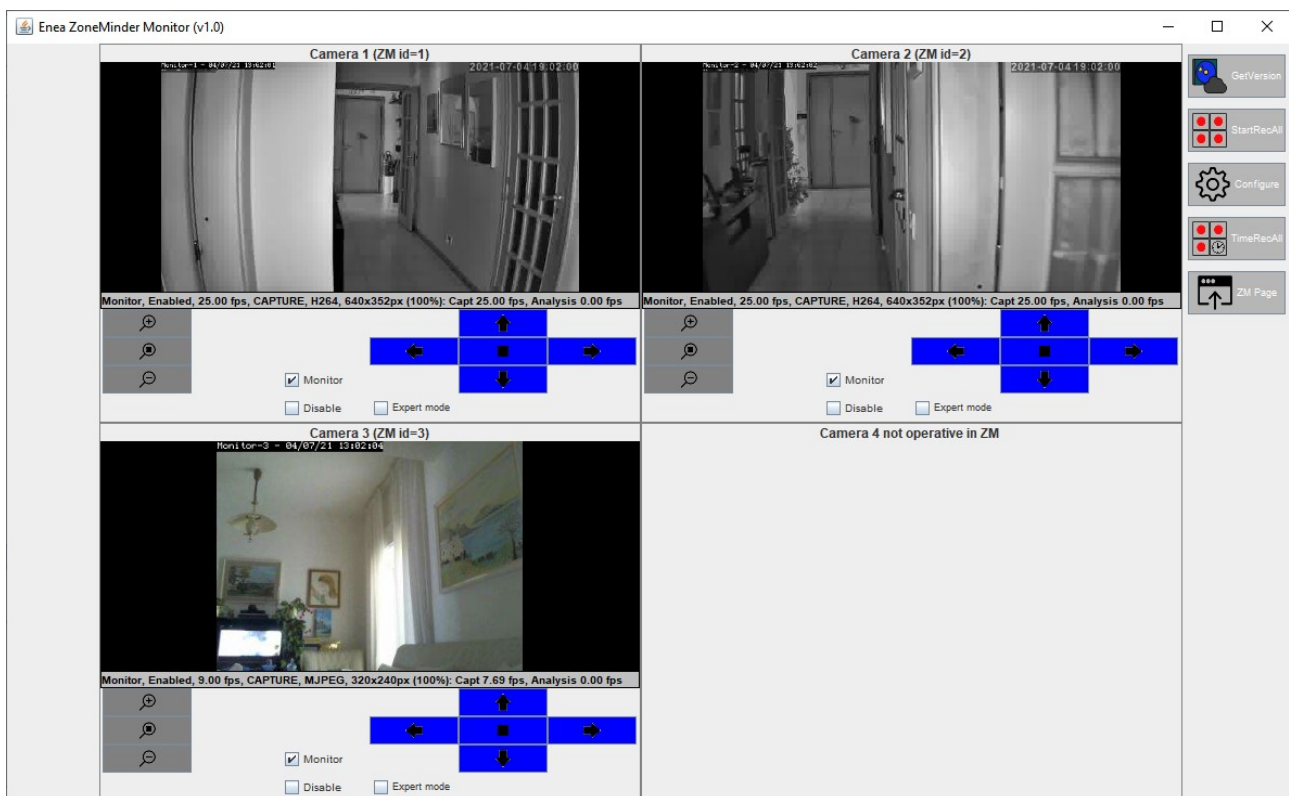
- Lo standard **H.264 high-profile** con **VBR** è utilizzato per comprimere i flussi video provenienti dalle videocamere e anche per la trasmissione dal server ai client. La scelta è ricaduta su questo codec essendo supportato da un più alto numero di browser e player rispetto ad H.265 [6][7].
- Il formato **MJPEG** è stato utilizzato per i flussi video provenienti dalle videocamere ad infrarossi, essendo queste in genere a bassa risoluzione. Inoltre, il codec può essere implementato anche su dispositivi con una potenza di calcolo non elevata (ad esempio sistemi embedded utilizzati per router e microPC);

### 2.3 Il client EneaMonitor

Al di fornire agli operatori un'interfaccia semplice e intuitiva per la gestione dell'intero sistema di videoregistrazione, è stato sviluppato un software lato client denominato EneaMonitor.

Il software permette di interfacciarsi col server per gestire e configurare le cam, variando posizione e zoom, e può essere utilizzato altresì che per avviare e gestire il processo di registrazione.

EneaMonitor è stato scritto in linguaggio Java, in modo da rendere il suo funzionamento indipendente dal sistema operativo installato sulle macchine client. Il software comunica con ZoneMinder per mezzo di una API RESTful [ZMREST01] e lo scambio di messaggi tra EneaMonitor e ZoneMinder è del tutto trasparente all'utente.



**Fig. 5: Interfaccia principale di EneaMonitor**

EneaMonitor fa uso della tecnologia **Java Web Start (JWS)** [JWS01]. Grazie a JWS, non è necessario installare alcun software aggiuntivo per l'esecuzione di EneaMonitor. E' infatti sufficiente che l'operatore che desidera utilizzare l'applicazione, effettui l'accesso al main server e scarichi, mediante un comune browser, il

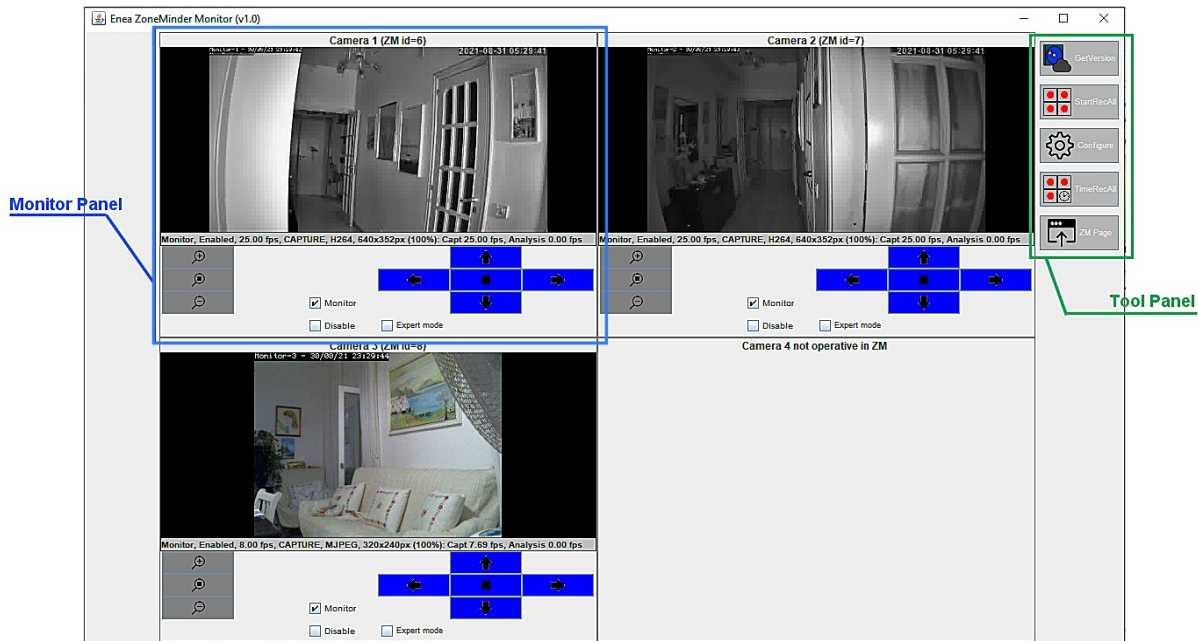
<sup>6</sup> <https://forums.zoneminder.com/viewtopic.php?t=29300>

<sup>7</sup> <https://forums.zoneminder.com/viewtopic.php?t=30102>

pacchetto **EneaMonitor.jar**. Quest'ultimo contiene tutto il codice Java di EneaMonitor (in formato *bytecode*) nonché tutte le altre librerie Java necessarie per il funzionamento del software stesso.

La Fig. 5 mostra l'interfaccia principale di EneaMonitor [8]. L'applicazione invia periodicamente delle query a ZoneMinder che gli permettono di monitorare lo stato delle videocamere e di estrarre delle informazioni sui flussi video (frame rate, risoluzione).

### 2.3.1 L'interfaccia principale di EneaMonitor



**Fig. 6: L'interfaccia principale di EneaMonitor contiene 4 Monitor Panel**

Come si vede in Fig. 6, l'interfaccia principale di EneaMonitor è in grado di gestire contemporaneamente fino a 4 flussi video (*stream*) provenienti da 4 dispositivi (videocamere o termocamere).

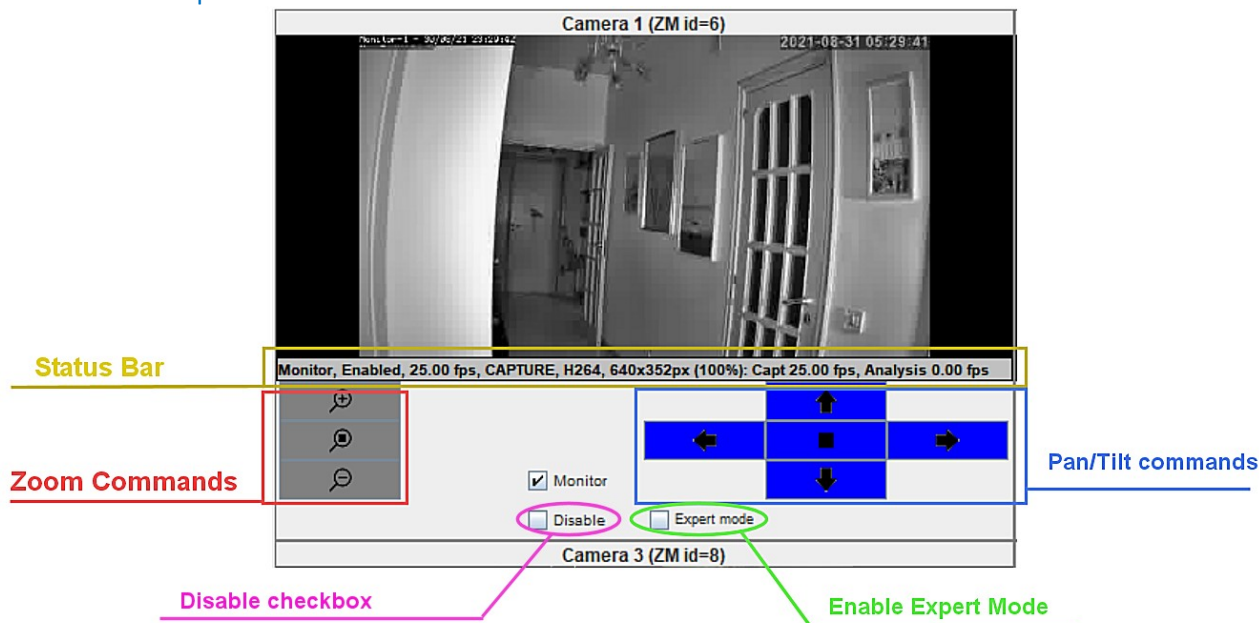
L'interfaccia comprende i seguenti elementi:

- quattro **Monitor Panel**, ognuno dei quali associato ad una sorgente video che mostra sia l'immagine acquisita in quel momento che i controlli Pan/Tilt/Zoom (PTZ) del dispositivo, se disponibili;
- un **Tool Panel**, posto sulla destra dell'interfaccia, che consente di accedere ai menu di configurazione e alle funzionalità che hanno effetto su tutte le sorgenti video attualmente attive, quali ad esempio l'avvio di una registrazione.

<sup>8</sup> **Nota:** Le immagini utilizzate per illustrare le procedure di installazione fanno riferimento a locali non appartenenti al Dipartimento di Ingegneria in quanto il presente documento è stato redatto per lo più durante il primo semestre del 2021. In tale periodo, a causa dell'epidemia COVID-19, l'accesso ai laboratori era interdetto e molte delle attività sono state svolte in smart-working.



### 2.3.2 I monitor panel



**Fig. 7: Elementi in ogni Monitor Panel**

Per ogni Monitor Panel è possibile scegliere fra due modalità di funzionamento: **simple mode** e **expert mode**.

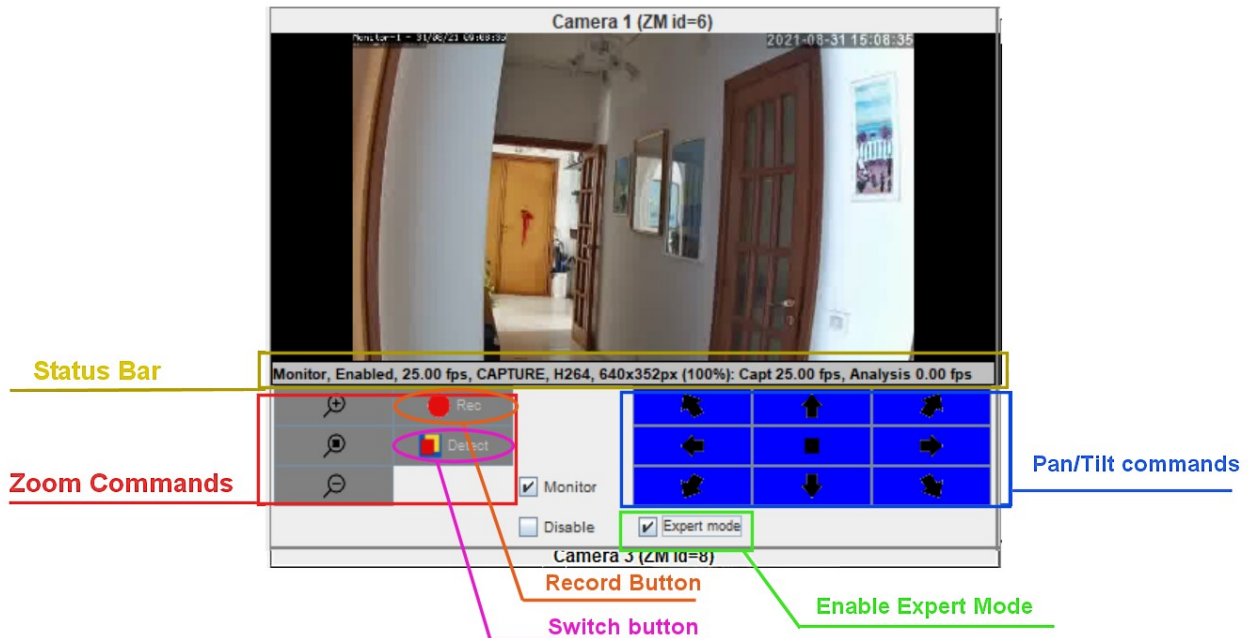
Nella Fig. 7 viene mostrato il dettaglio di uno dei quattro Monitor Panel in modalità **simple mode**.

Oltre ad un elemento dell'interfaccia che mostra il contenuto del flusso video, sono presenti:

- Una **status bar** (barra di stato, evidenziata in giallo in Fig. 7). La barra di stato contiene informazioni sullo stream video, e precisamente:
  - **Modalità di funzionamento corrente:** *Monitor/Modect/Record/Mocord*, di seguito discusse;
  - **Stato del Monitor:** indica se l'acquisizione del flusso video è abilitata o meno per il Monitor;
  - **Risoluzione video:** nella Fig. 7, **640x352** ma può essere configurata come descritto in seguito;
  - **Protocollo di compressione video:** H.264 o MJPEG;
  - **Frame rate (FPS).** La barra di stato mostra due frame rate relativi rispettivamente al modulo di cattura (*zmc*) e al modulo di analisi (*zma*) delle immagini;
- **Comandi per lo Zoom** (evidenziati in rosso in Fig. 7). Tali comandi permettono di comandare lo zoom ottico della videocamera collegata;
- **Comandi per panoramica (Pan) e inclinazione (Tilt)** (evidenziati in blu). Tali comandi permettono di regolare la rotazione (dx/sx) o l'inclinazione (up/down) del gruppo ottico in conformità allo standard ONVIF [9]. Nota: attivati i comandi, è necessario premere sul pulsante centrale per fermare il movimento del gruppo ottico.
- Il checkbox **Disable** consente di disattivare temporaneamente il Monitor.

<sup>9</sup> <https://www.onvif.org/>

La modalità **Simple Mode** fornisce solo un sottoinsieme delle funzionalità disponibili in EneaMonitor che invece sono pienamente fruibili attivando la modalità Expert Mode. Quest'ultima può essere attivata tramite il checkbox **Expert mode** evidenziato in verde nella Fig. 7.



**Fig. 8: Elementi in ogni Monitor Panel**

In particolare, in modalità Expert Mode sono disponibili i seguenti pulsanti aggiuntivi:

- pulsanti per il movimento della videocamera in diagonale accessibili dal pannello **Pan/Tilt**;
- pulsanti **Rec** e **Detect** che permettono, insieme al checkbox Monitor, di selezionare la modalità di funzionamento (**None/Monitor/Record/Modect/Mocord**) secondo la tabella di seguito riportata.

Monitor	Rec	Detect	Mode	Descrizione
Var	Var	Var		
0	N/D	N/D	<b>NONE</b>	Non si esegue alcuna operazione (monitoraggio e registrazione disattivate)
1	0	0	<b>MONITOR</b>	Viene visualizzato il segnale video proveniente dalla sorgente
1	1	0	<b>RECORD</b>	Esegue la registrazione del segnale video
1	0	1	<b>MODECT</b>	Esegue l'algoritmo di motion detection e registra il flusso video al verificarsi di un evento.
1	1	1	<b>MOCORD</b>	Esegue l'algoritmo di motion detection e registra il flusso video indipendentemente dagli eventi. Un evento viene segnalato da effetti visivi all'interno dei frame.

Nella modalità *Monitor* il software si limita a prelevare i dati dalla sorgente video ed a creare uno stream compresso che può essere trasmesso per essere visualizzato dal client.

Nella modalità *Record* il software permette di registrare il flusso video sul disco rigido del server.

Selezionando tale modalità l'aspetto del Monitor Panel si modifica come illustrato in Fig. 9. In particolare, il colore della barra di stato passa dal grigio al verde per indicare che la registrazione è attiva.

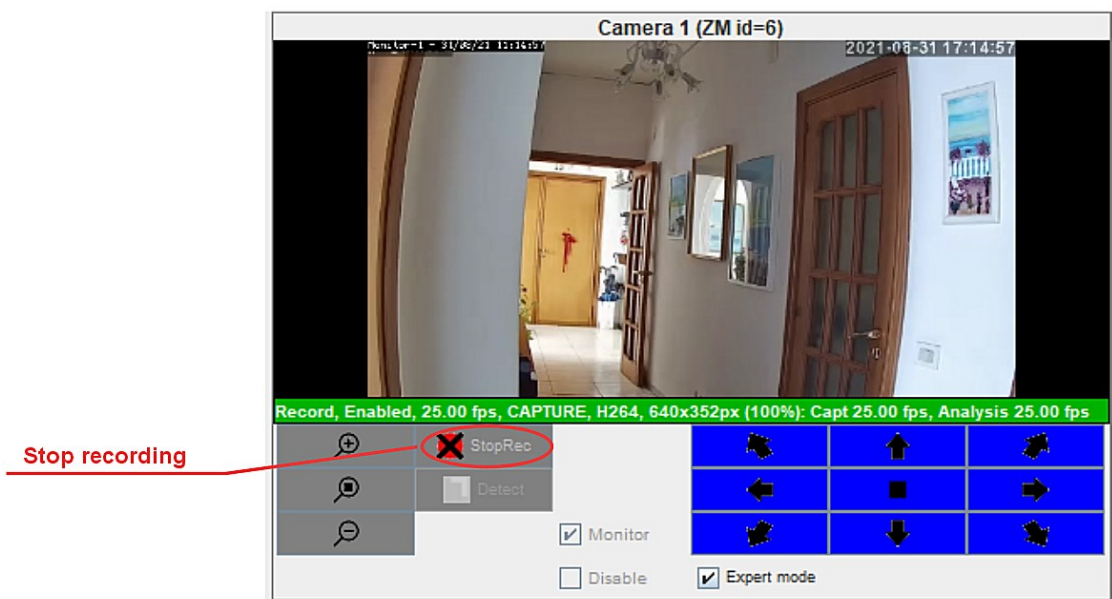


Fig. 9: Monitor Panel in modalità Record

Inoltre il pulsante Record viene sostituito dal pulsante **StopRec**. Premendo StopRec si interrompe la registrazione ed il sistema commuta nuovamente nella modalità *Monitor* (se non sono state effettuate altre impostazioni).

Nella modalità Monitor, premendo il pulsante **Detect** si passa alla modalità *Modect* (Fig. 10) che permette l'esecuzione di algoritmi di motion detection in grado di rilevare eventuali eventi.

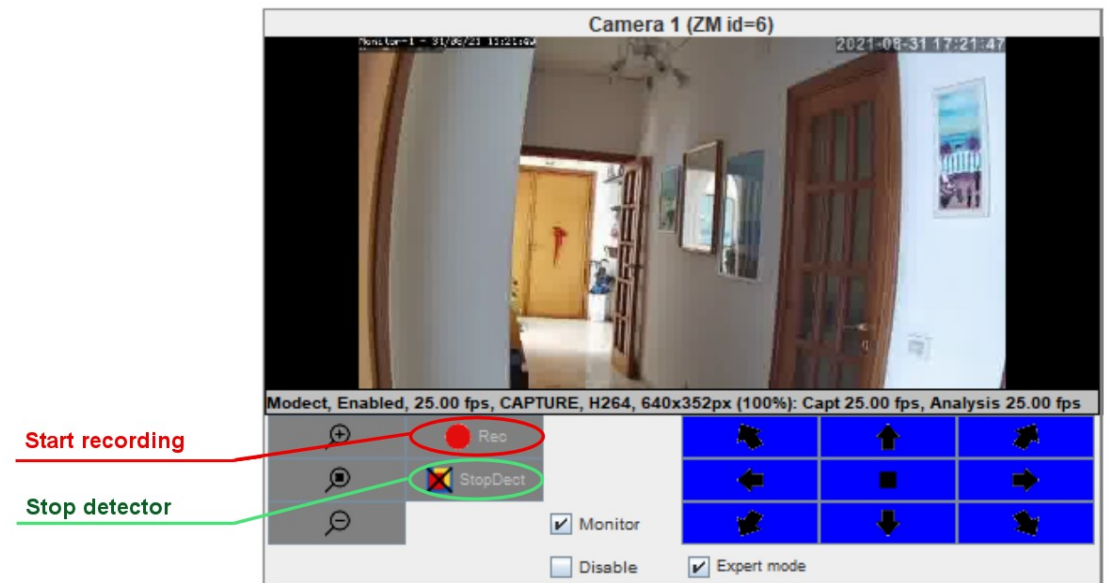
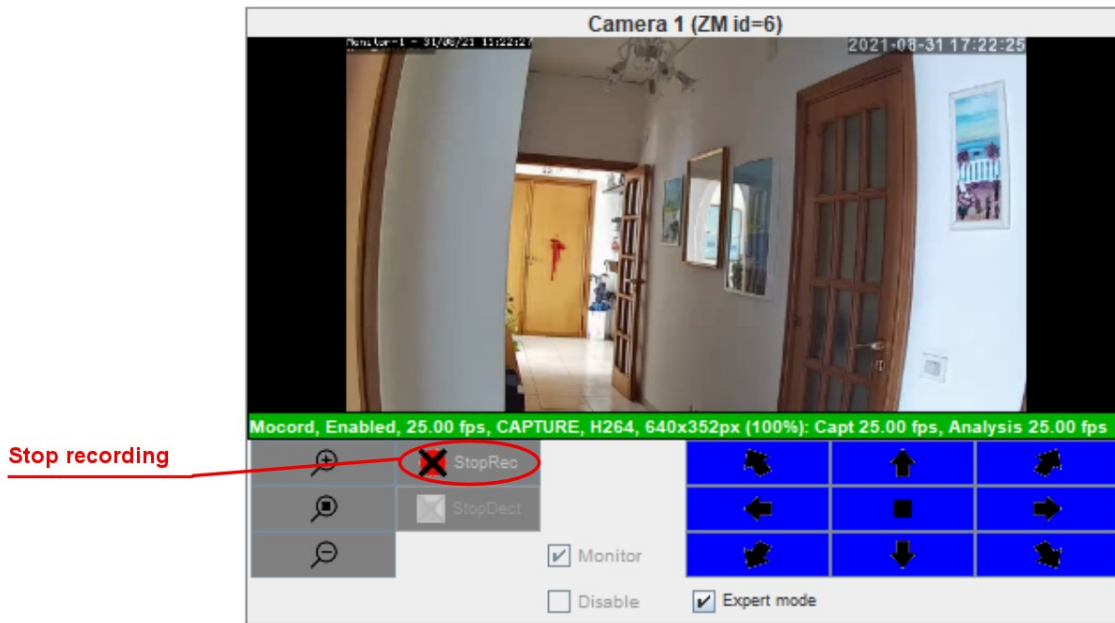


Fig. 10: Monitor Panel in modalità Modect

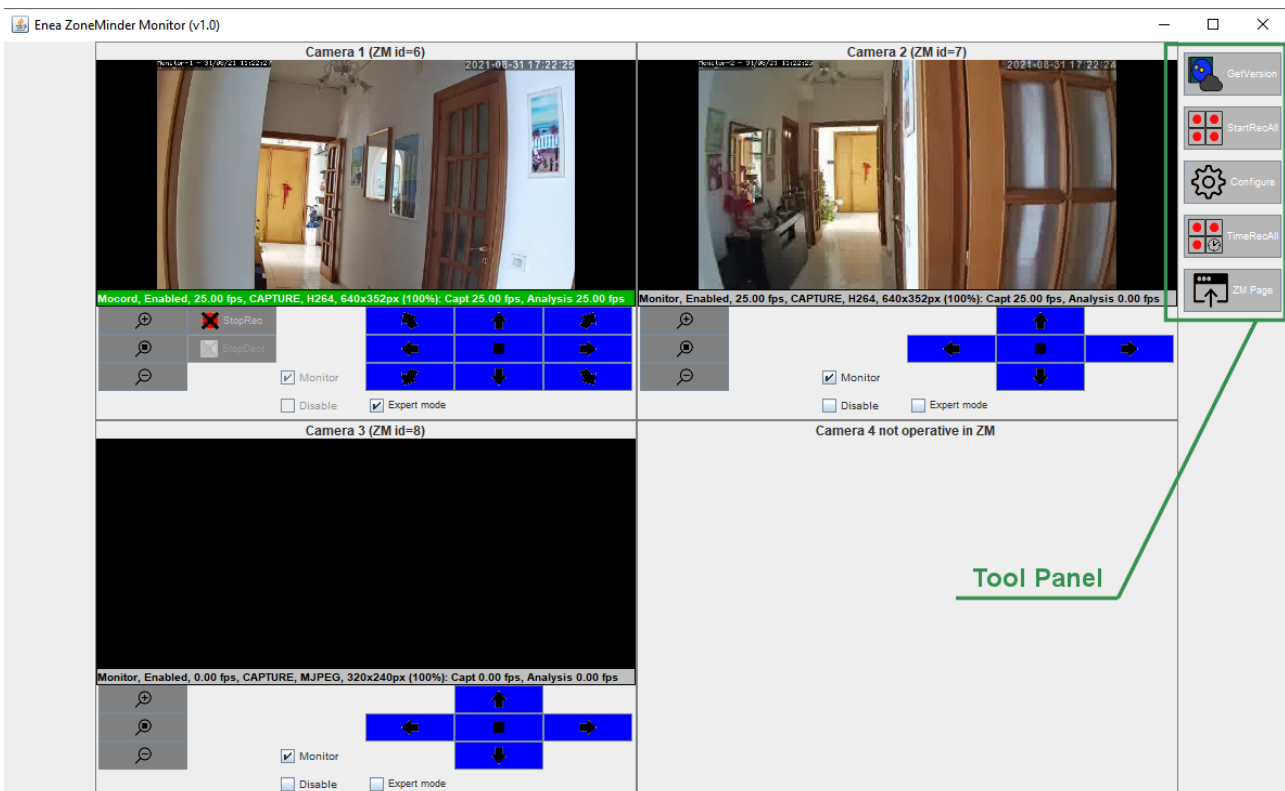
Se viene riscontrato un evento, l'applicazione registra su disco un video di durata non inferiore a 10 secondi (tale valore è configurabile nel server).

Dalla modalità Modect è possibile ritornare alla modalità Monitor premendo il pulsante **StopDect**. Premendo invece il pulsante Rec, il sistema passa alla modalità *Mocord* (Fig. 11). In tale modalità il sistema registra il flusso video e nel contempo esegue l'algoritmo di motion detection.

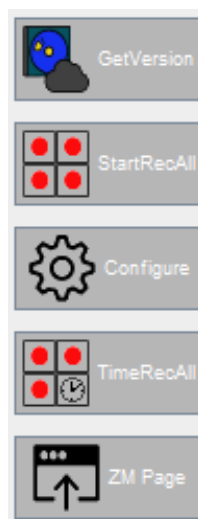


**Fig. 11: Monitor Panel in modalità Mocord**

### 2.3.3 Il pannello degli strumenti



**Fig. 12: il ToolPanel nell'interfaccia principale**



**Fig. 13: Il ToolPanel nell'interfaccia principale**

Come illustrato in Fig. 12, a destra dell'interfaccia è presente un pannello degli strumenti (**ToolPanel**) mostrato in maggiore dettaglio in Fig. 13. Il pannello consente di accedere ai menu di configurazione ed a funzionalità che hanno effetto su tutte le sorgenti video attualmente attive, quali ad esempio l'avvio di una registrazione.

I pulsanti presenti nel ToolPanel sono i seguenti:

- Il pulsante **GetVersion** apre una finestra che mostra la versione del software EneaMonitor e di ZoneMinder;
- Il pulsante **StartRecAll** permette di attivare la registrazione su tutti i flussi video. Se tutti i MonitorPanel sono in modalità registrazione, il pulsante viene rinominato **StopRecAll**, e una ulteriore pressione del pulsante permette di arrestare la registrazione su tutti i flussi video contemporaneamente;
- Il pulsante **TimeRecAll** permette di attivare una registrazione *temporizzata* su tutti i flussi video. L'utente deve specificare l'intervallo di registrazione nell'apposito campo (nel formato DD:HH:MM:SS). Il sistema arresterà automaticamente la registrazione allo scadere del timer ;
- Il pulsante **ZMPage** apre una pagina del browser che permette di accedere all'interfaccia di configurazione di ZoneMinder, ovvero la **Web Console** [ZMWEBC01] in Fig. 2;
- Il pulsante **Configure** apre la finestra di configurazione di EneaMonitor, consentendo di impostare i parametri di funzionamento del software.

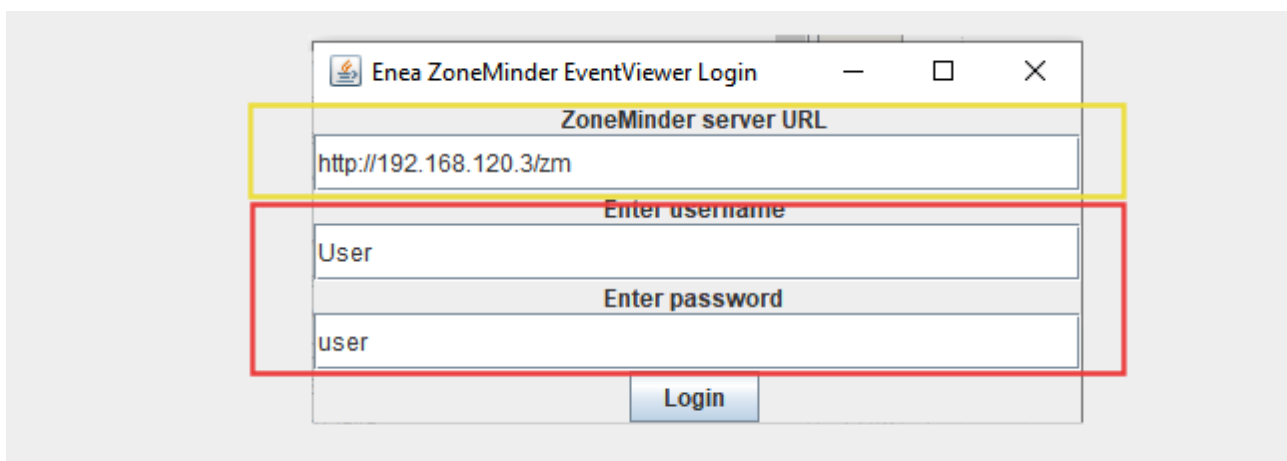
Per ulteriori informazioni sulle funzionalità del software si rimanda al documento "**Manuale d'uso del software EneaMonitor**".

## 2.4 ZMEventViewer

Il software **ZMEventViewer** è un'applicazione Java appositamente sviluppata nell'ambito dell'attività al fine di permettere ad operatori l'accesso ai video presenti sul main server per una loro post-elaborazione.

ZMEventViewer usa l'API RESTful di ZoneMinder per accedere al database dei video presenti sul main server. Per tramite di ZMEventViewer, i video possono essere riprodotti ed elaborati. Ad esempio è possibile concatenare più file video per realizzare dei video-tutorial su soluzioni off-site construction a partire da video precedentemente registrati. Il video di output così ottenuto può essere reso accessibile pubblicamente, ad esempio linkandolo da una pagina web HTML5 del server ENEA, oppure essere utilizzato per ulteriori elaborazioni.

### 2.4.1 L'interfaccia di login di ZMEventViewer



**Fig. 14: Interfaccia di Login di ZMEventViewer**

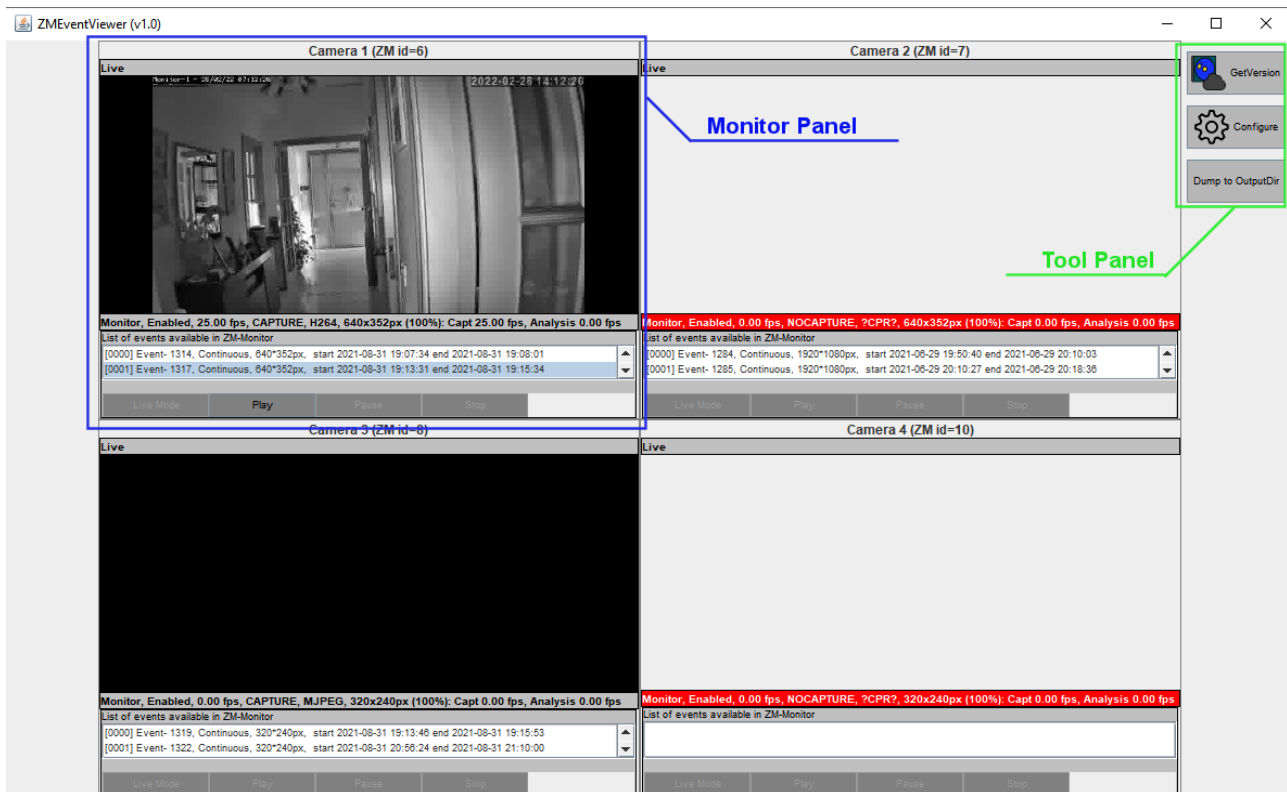
In Fig. 14 viene mostrata l'interfaccia di login di ZMEventViewer. Per accedere al software occorre specificare mediante l'interfaccia le seguenti informazioni:

- **URL del server ZoneMinder** (evidenziato in Fig. 14 con un riquadro giallo);
- **Username e Password** (evidenziati in rosso). Le credenziali necessarie per l'autenticazione al server.

Cliccando sul pulsante Login si procede con l'autenticazione. Se l'autenticazione al server avviene correttamente, apparirà l'interfaccia di ZMEventViewer, mostrata in Fig. 15.



## 2.4.2 L'interfaccia principale di ZMEventViewer



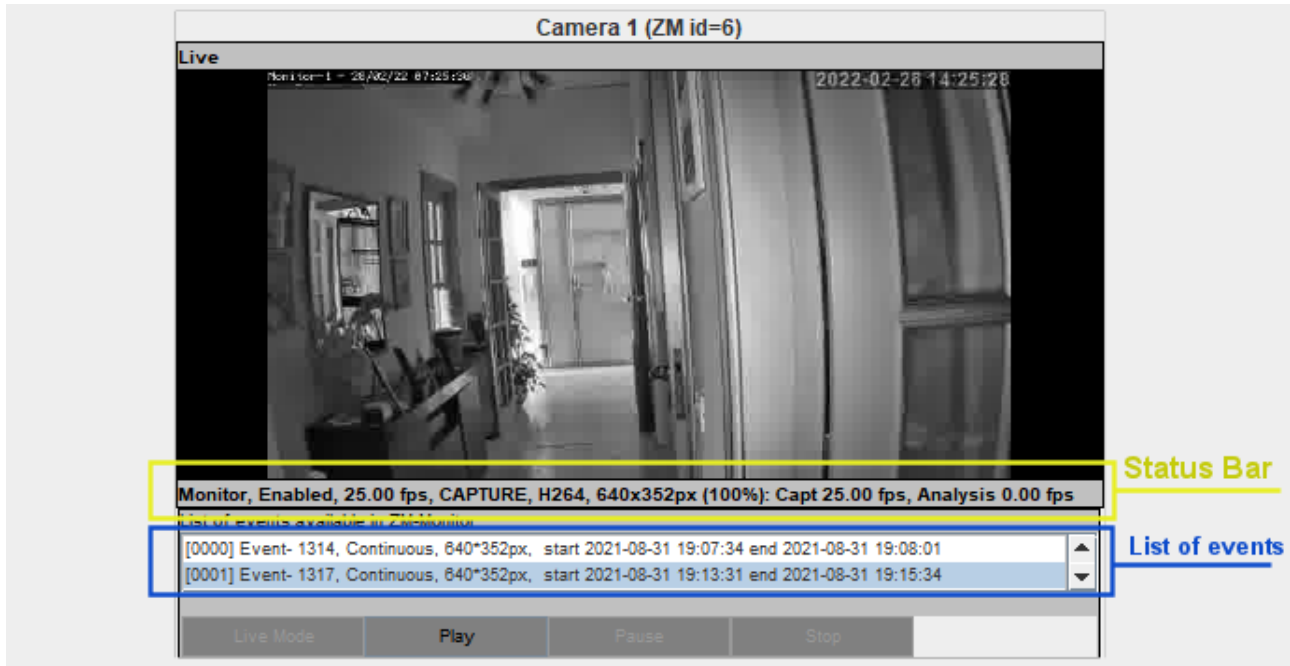
**Fig. 15: L'interfaccia principale di ZMEventViewer**

Come si vede in Fig. 15, l'interfaccia principale di ZMEventViewer comprende i seguenti elementi:

- quattro **Monitor Panel**, ognuno dei quali associato ad una sorgente video (videocamera o termocamera) che può essere utilizzato per visualizzare lo streaming video attuale o in alternativa un video preregistrato;
- un **Tool Panel**, posto sulla destra dell'interfaccia, che consente di accedere ai menu di configurazione ed alle informazioni sulla versione corrente dell'applicazione.



### 2.4.3 I monitor panel



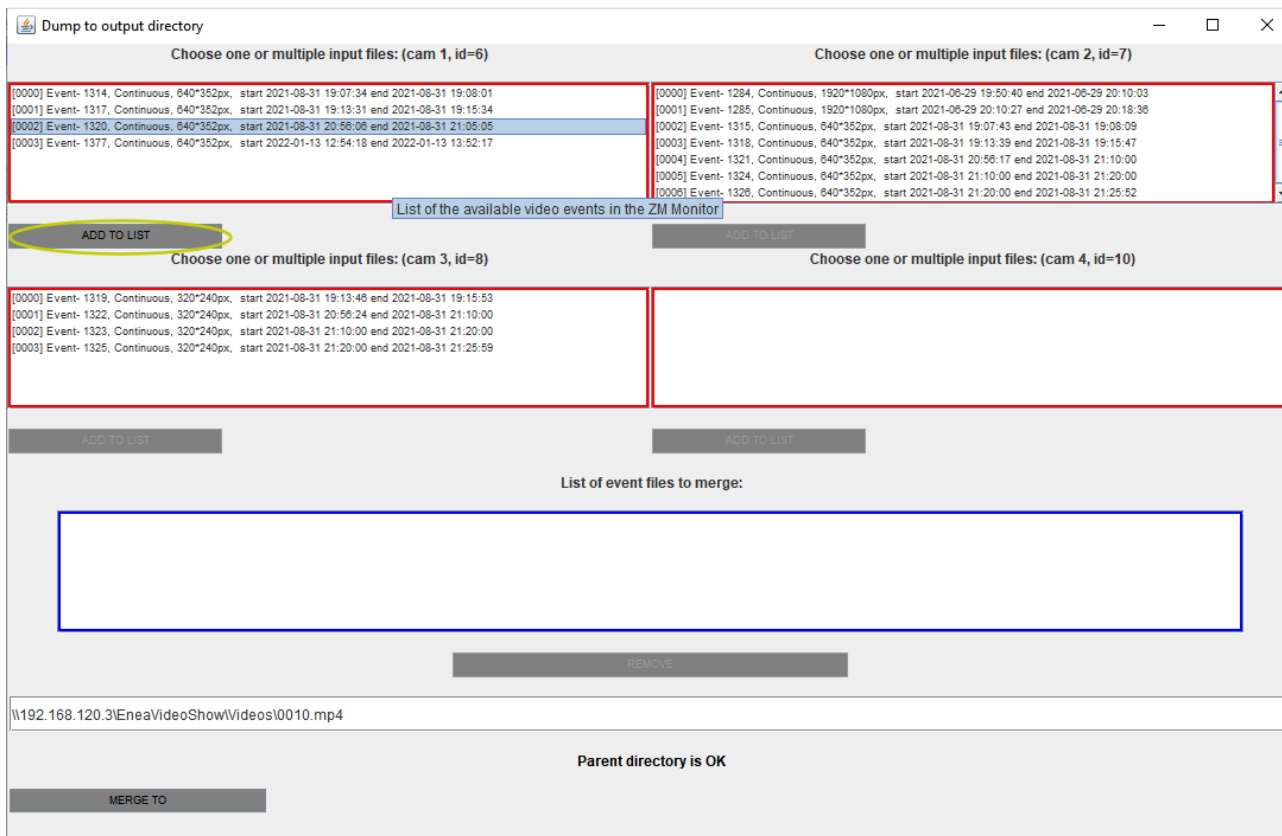
**Fig. 16: Elementi in ogni Monitor Panel**

Nella Fig. 16 viene mostrato il dettaglio di uno dei quattro Monitor Panel. Oltre al riquadro principale dell'interfaccia, che mostra il contenuto del video, sono presenti:

- Una **status bar** (barra di stato, evidenziata in giallo in Fig. 16) che contiene informazioni sul video, e precisamente:
  - **Modalità di funzionamento corrente:** Live/Play;
  - **Risoluzione video;**
  - **Protocollo di compressione video:** H.264 o MJPEG;
  - **Frame rate (FPS).** La barra di stato mostra due frame rate relativi rispettivamente al modulo di cattura (*zmc*) e al modulo di analisi (*zma*) delle immagini;
- **Lista degli eventi** (evidenziata in blu in Fig. 16). Contiene la lista dei video (eventi in ZM) precedentemente acquisiti dalla relativa videocamera. Per ogni video vengono mostrate informazioni come risoluzione, data di inizio e data di fine registrazione. Cliccando su uno degli elementi della lista, è possibile selezionarlo e quindi riprodurlo cliccando sul pulsante **Play** sottostante;
- **Barra pulsanti:** in basso al panel sono presenti i pulsanti **Play/Pause/Stop** che consentono rispettivamente di avviare la riproduzione, mettere in pausa o terminarla. In particolare, premendo il pulsante **Stop** il video ritorna (dopo alcuni secondi) in modalità Live visualizzando il flusso video prodotto in tempo reale dalla videocamera. La commutazione in modalità Live può essere anche ottenuta immediatamente tramite il pulsante **Live Mode**.

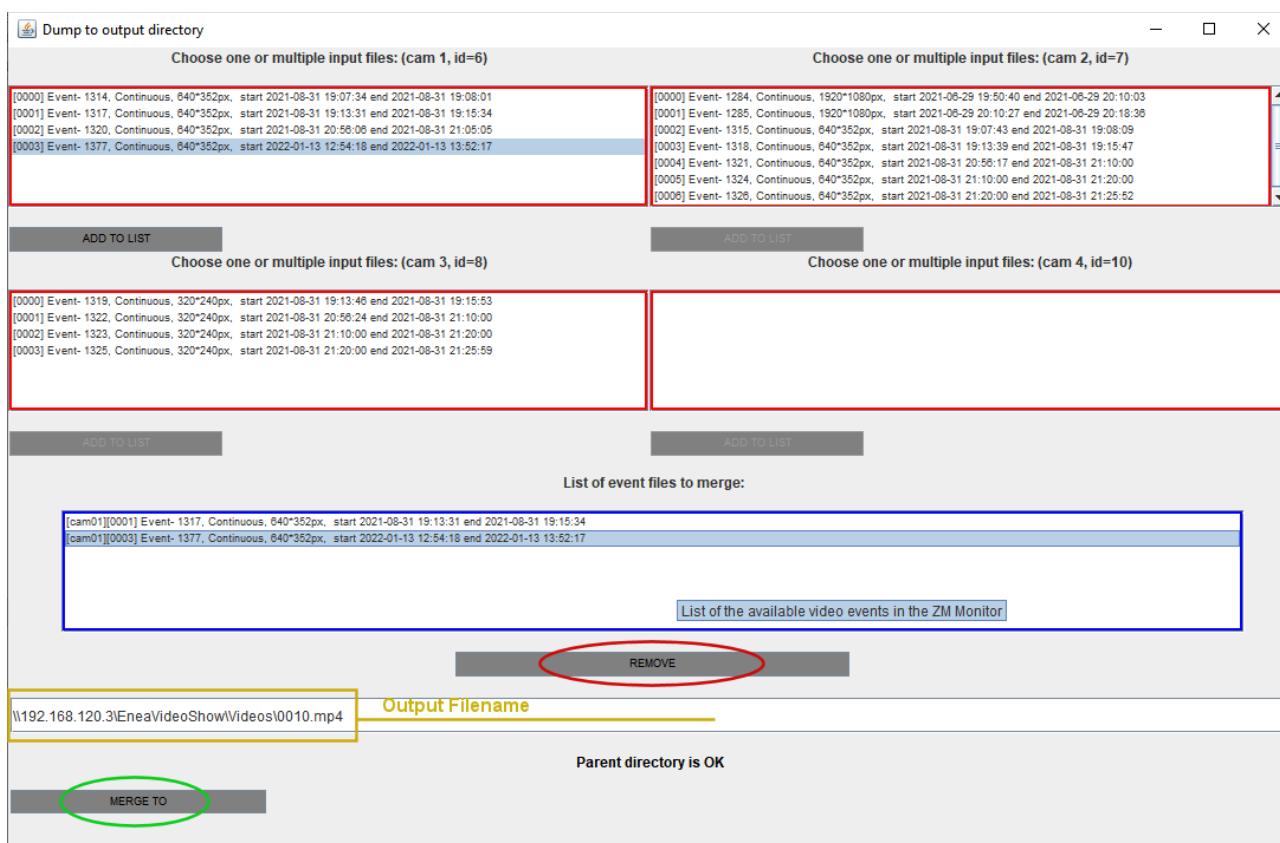
### 2.4.4 Pulsante *DumpToOutput*

Cliccando sul pulsante **DumpToOutput** presente nel tool panel di ZMEventViewer (a destra dei monitor), viene aperta una nuova finestra che permette di selezionare i file video che saranno sottoposti a concatenazione (merging).



**Fig. 17: La finestra "Dump To Output Directory"**

Come illustrato in Fig. 17, l'applicazione visualizza quattro liste di video (una per ogni cam, evidenziate da riquadri rossi). Per ciascuna delle liste è possibile selezionare un elemento che, premendo il pulsante **AddToList** (evidenziato in giallo), viene copiato nella lista di output (evidenziata in blu).



**Fig. 18: La finestra “Dump To Output Directory”**

Una volta selezionati i file da concatenare, occorre specificare il nome del file di uscita nell’apposito campo (evidenziato in giallo in Fig. 18). ZMEventViewer suggerisce automaticamente il nome del file specificando un numero progressivo generato in funzione dei file già presenti nella directory di output. Infine, premendo il pulsante **MERGE TO** viene creato il file desiderato.

Durante la selezione dei file è anche possibile rimuovere dalla lista di output un file selezionandolo e premendo il pulsante **Remove**.

Nella Fig. 19 viene illustrato il processo di merging con un esempio dove sono stati selezionati tre file relativi alle cam 1, 2 e 3 e generato il file di output denominato 007.mp4.

Al termine della creazione del file, se avvenuto con successo, l’interfaccia restituisce il messaggio **Merged completed successfully** come illustrato in Fig. 20.

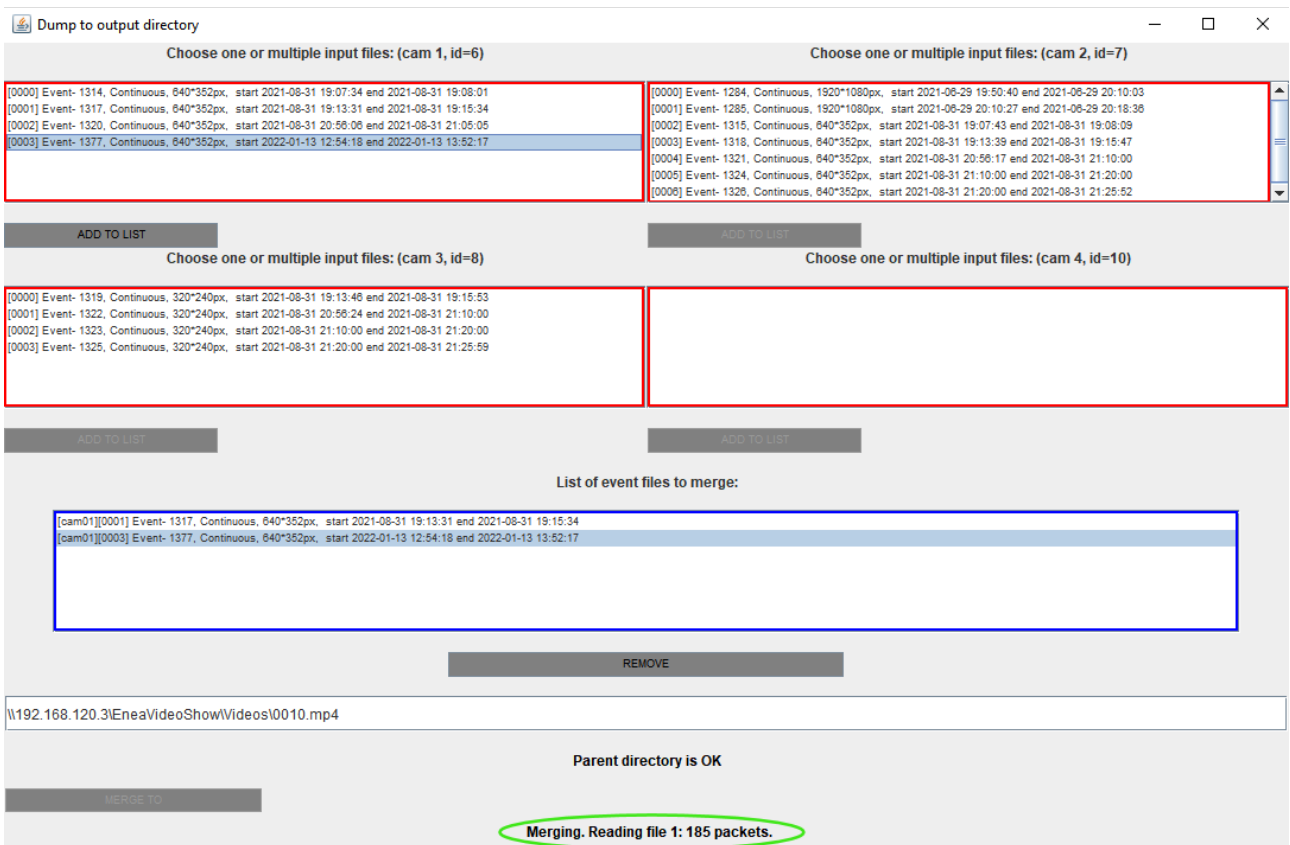


Fig. 19: La finestra "Dump To Output Directory" (merging in corso)

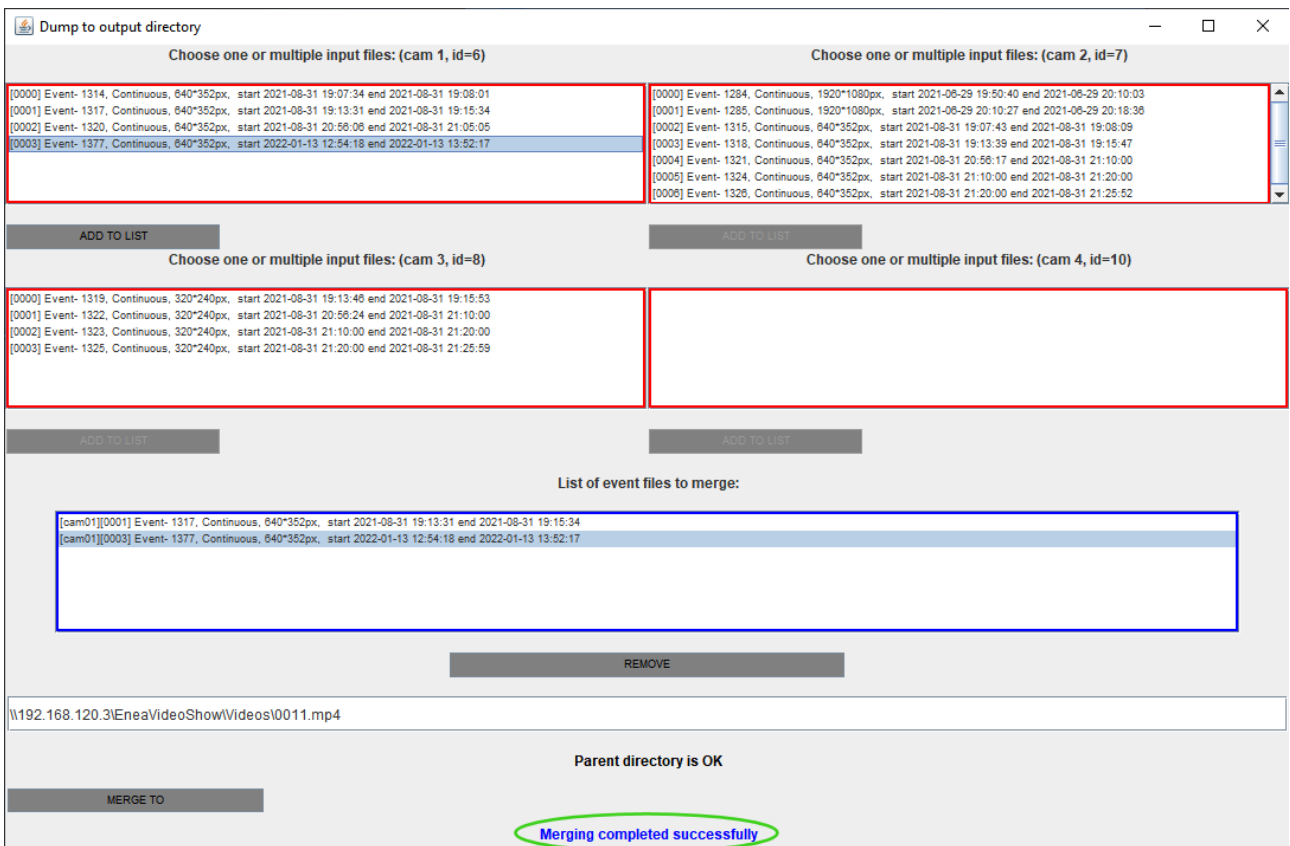
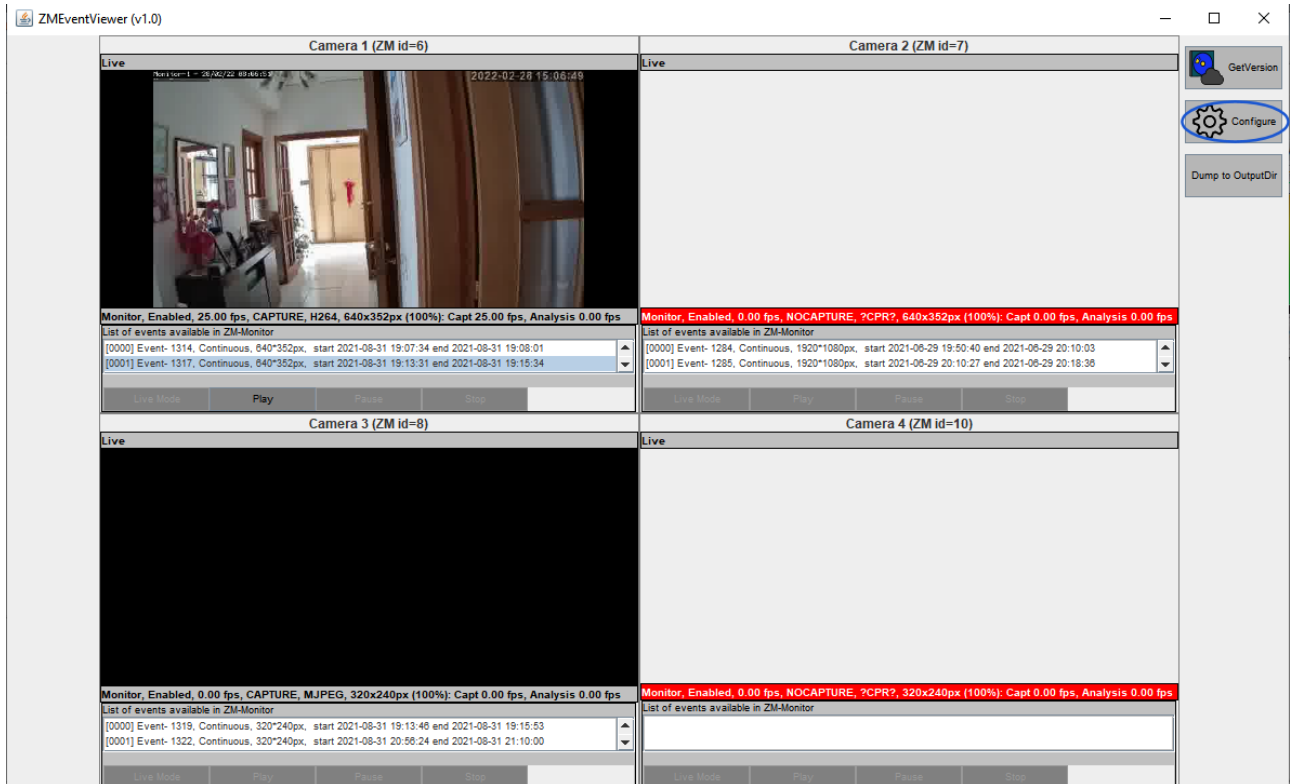


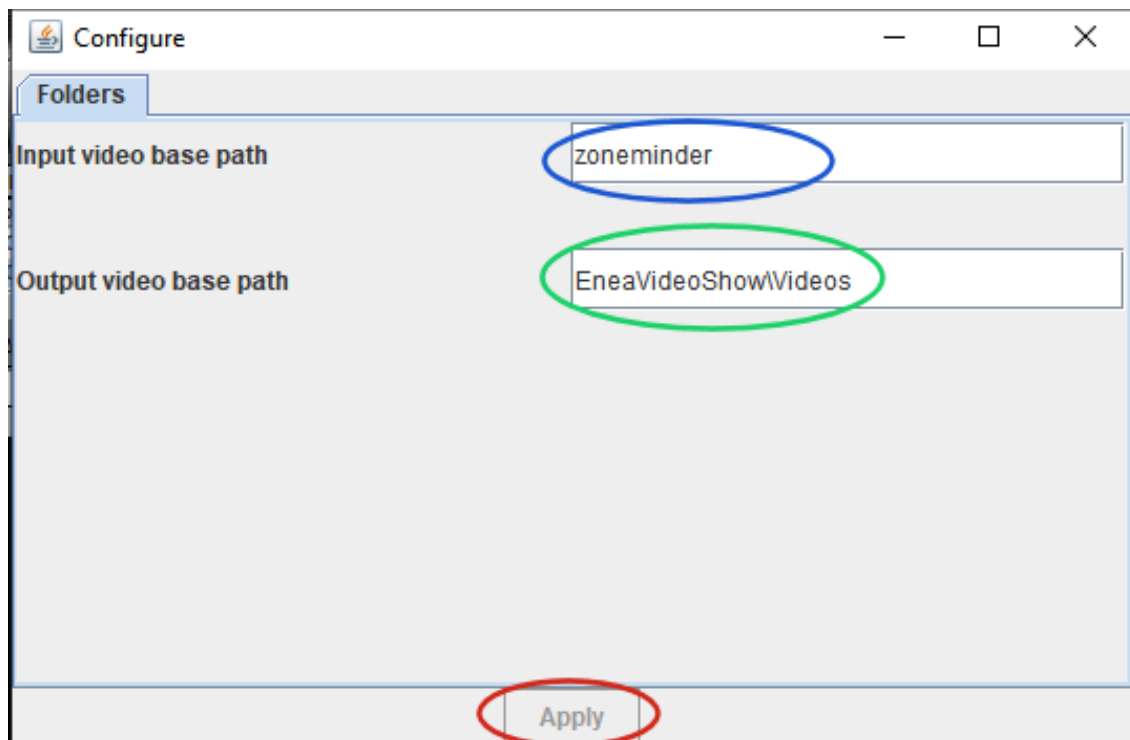
Fig. 20: La finestra "Dump To Output Directory" (merging completato correttamente)

## 2.4.5 Pulsante *Configure*



**Fig. 21:** L'interfaccia principale di ZMEventViewer

Cliccando sul pulsante **Configure** nell'interfaccia principale di ZMEventViewer (evidenziato in blu in Fig. 21), si aprirà la finestra di configurazione del programma illustrata in Fig. 22.



**Fig. 22:** L'interfaccia di configurazione di ZMEventViewer

Come mostrato in Fig. 22, la finestra di configurazione di ZMEventViewer consta di due textbox che consentono di specificare due informazioni:

- **Input Video Base Path** (textbox evidenziata in blu): Questo campo permette di specificare la directory del server dove sono presenti i file video. Ad esempio, specificando *zoneminder*, se l'URL del server è <http://192.168.120.3/zm>, ZMEventViewer leggerà i file di input dalla cartella condivisa accessibile al percorso <\\192.168.120.3\zoneminder> ;
- **Output Video Base Path** (textbox evidenziata in verde): Questo campo permette di specificare la directory del server dove saranno memorizzati i video derivanti dalla post-elaborazione. Ad esempio, specificando *EneaVideoShow/Videos*, se l'URL del server è <http://192.168.120.3/zm>, ZMEventViewer salverà i file di output nella directory condivisa <\\192.168.120.3\EneaVideoShow\Videos>.

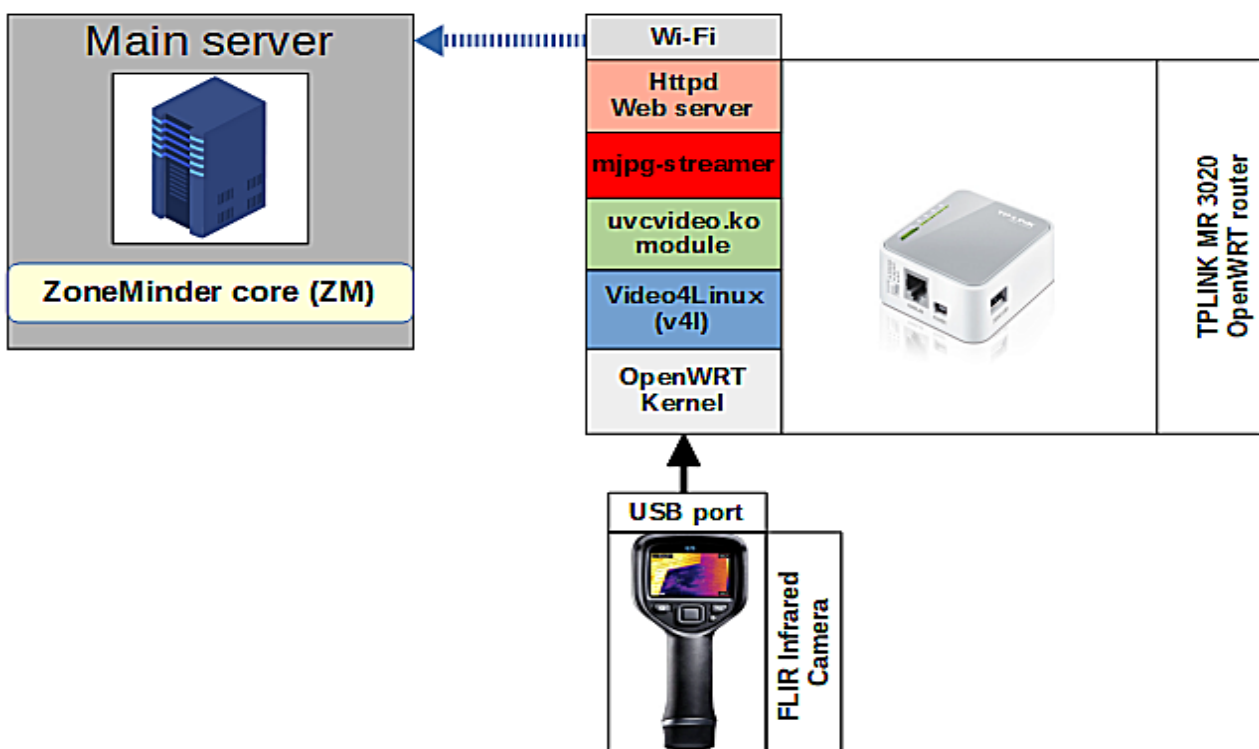
Le directory di input e di output devono essere rese accessibili da remoto nel server sia in lettura che in scrittura, tramite l'uso del server *samba* già preinstallato sul main server.

Il programma è già configurato con le directory di default previste dal main server ma eventualmente possono essere modificate agendo su tali campi e cliccando sul pulsante **Apply**.

## 2.5 Gateway per termocamere

Il sistema di monitoraggio EneaMonitor è stato progettato per supportare sia videocamere che termocamere remote. Molte termocamere in commercio non dispongono però di interfaccia wireless, ma al più di una interfaccia USB. Altre hanno una interfaccia WiFi limitata ad operazioni di configurazione o all'acquisizione di singole immagini termiche. Per permettere l'interfacciamento del sistema EneaMonitor anche con termocamere USB si è realizzato un dispositivo di interfacciamento (*gateway*) che consente di acquisire le immagini termiche e trasformarle in un flusso video MJPEG che può essere trasmesso su una rete WiFi (IEEE 802.11b/g/n).

L'architettura del gateway è illustrata in Fig. 23:



**Fig. 23: Schema del sistema di interfacciamento delle termocamere al server centrale dove gira ZM**

Il gateway si basa su un router TP-LINK MR3020v1 [MR3020], un dispositivo dotato di processore Atheros AR9331 a 400MHz e di 4MB di memoria flash [MR3020v1] dove il firmware originariamente installato dal produttore (*stock rom*) è stato sostituito con **OpenWRT** [OPENWRT01], una distribuzione Linux pensata specificatamente per router wireless e sistemi embedded.

In OpenWRT gli utenti possono compilare i sorgenti includendo solo i moduli che forniscono le funzioni necessarie, ottenendo così un'immagine binaria del sistema operativo che verrà successivamente caricata nella memoria flash del dispositivo target come se fosse un normale aggiornamento del firmware.



Si è scelto di utilizzare OpenWRT per avere una maggiore flessibilità nello sviluppo. In particolare, grazie ad OpenWRT è possibile:

- **aggiungere al dispositivo funzionalità originariamente non previste dal produttore.** Ad esempio, con OpenWRT i router, oltre a svolgere le normali funzioni di rete, possono essere collegati a webcam, microfoni o dispositivi di storage USB;
- **aggiungere applicazioni software in base alle proprie esigenze.** Il sistema si basa su una collezione di *package* che possono essere scaricati da un repository e che sono gestiti mediante un package manager dedicato chiamato *opkg* [OPENWRT02];
- **aggiornare il firmware anche da remoto.** Eventuali bug possono quindi essere risolti rapidamente e il sistema può essere continuamente aggiornato sulla base delle specifiche esigenze.

OpenWRT supporta un'interfaccia grafica, chiamata **LuCi**, a cui è possibile accedere da un browser. **LuCi** permette di gestire la maggior parte delle funzioni del sistema (vedere lo stato della rete, installare/disinstallare pacchetti, aprire una sessione di terminale ed altro).

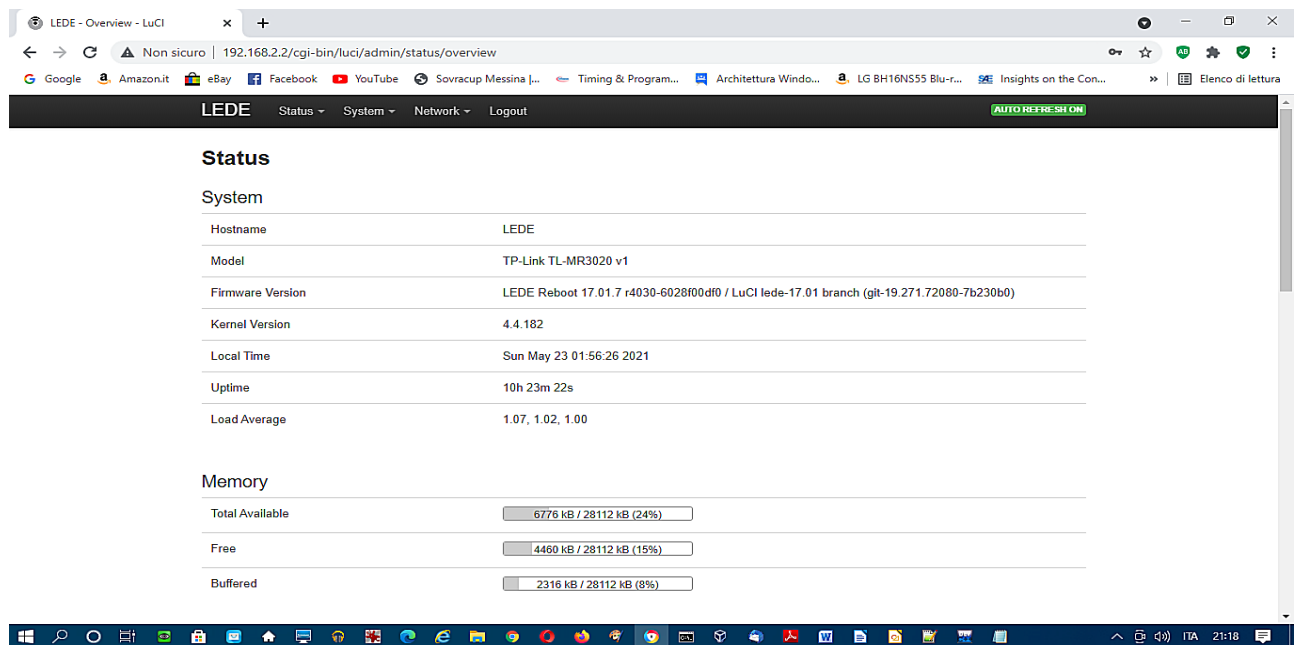


Fig. 24: L'interfaccia LuCi di OpenWRT

Per la realizzazione del gateway è stata ricompilata la distribuzione LEReboot di OpenWRT, adatta al router TP-LINK MR3020v1, aggiungendo e configurando un set di moduli e package atti a supportare funzionalità necessarie per gli scopi del progetto. In particolare, le principali estensioni

- **Modulo `kmod-usb-uhci`,** necessario per poter interfacciare dispositivi UHCI come webcam USB;
- **Modulo `uvcvideo.ko`.** In OpenWRT questo modulo supporta le webcam USB Video Class (UVC). Il codice sorgente del modulo è stato modificato ad-hoc in modo da aggiungere il supporto anche per le termocamere FLIR;
- **Package `mjpg-streamer` [MJPEG\_STREAM0].** Il software `mjpg-streamer` acquisisce il flusso video dalla cam collegata alla porta USB, provvede a comprimerlo in formato MJPEG, ed infine lo rende accessibile via rete a qualunque client remoto supporti il protocollo HTTP (ad esempio un browser compatibile HTML5 o VLC).

Durante il normale funzionamento del sistema di monitoraggio, ZoneMinder accede alla termocamera per tramite del gateway, acquisendo in input (via wi-fi) lo stream video MJPEG generato da mjpg-streamer. Successivamente, ZoneMinder provvede all'elaborazione e registrazione del flusso video acquisito, con le medesime modalità già descritte per le videocamere ottiche. Il flusso video proveniente dalla termocamera può così essere visualizzato mediante l'interfaccia client EneaMonitor alla stregua di una cam convenzionale.

Il gateway è stato testato con una termocamera TG267 prodotta dalla **FLIR** [FLIR01] trasmettendo flussi video con una risoluzione pari a 320x240px.

### 3 Posizionamento delle videocamere

Uno dei problemi principali nella progettazione di un sistema di videoregistrazione è la scelta del numero e delle posizioni delle videocamere da utilizzare al fine di garantire che le riprese abbiano il livello di dettaglio e la risoluzione desiderati.

Il problema è in genere di non elementare risoluzione poiché dipende da diversi parametri, legati sia a fattori geometrici (dimensioni e distanze) sia a limiti tecnologici quali ad esempio le caratteristiche dei sensori ottici presenti nelle videocamere commerciali.

Per semplificare questo step di progettazione, nell'ambito delle attività è stato prodotto un tool basato su fogli di calcolo e implementato in Excel, che permette di determinare la distanza ottimale tra il sistema di ripresa e l'area da riprendere date le specifiche tecniche delle videocamere, la risoluzione desiderata e le dimensioni in gioco.

Di seguito, per esemplificare l'utilizzo del tool, si utilizzeranno le specifiche tecniche delle camere SV3C ma in realtà il tool è stato realizzato e utilizzato proprio per individuare le videocamere più confacenti alle esigenze del progetto.

Per permettere di comprendere il funzionamento del tool e il modello utilizzato sono di seguito preliminarmente riportate alcune definizioni e la notazione utilizzata.

#### 3.1 Notazione e definizioni

Notazione:

- $D$  : distanza tra l'oggetto e la lente del sensore (in mm);
- $D^{MIN}$  : distanza minima (in millimetri, mm) a cui deve essere posta la cam ;
- $D^{MAX}$  : distanza massima (in mm) a cui può essere posta la cam;
  
- $SensorW_{mm}$  : dimensione orizzontale del sensore (in mm);
- $SensorW_{px}$  : dimensione orizzontale del sensore (in pixel);
- $SensorH_{mm}$  : dimensione verticale del sensore (in mm);
- $SensorH_{px}$  : dimensione verticale del sensore (in pixel);
- $SensorDiag_{mm}$  : lunghezza della diagonale del sensore (in mm). Dalle specifiche del sensore Sony IMX307 [SONY01] utilizzato dalle videocamere **SV3C** usate risulta  $SensorDiag_{mm}=6.46$  mm;
- $SensorDiag_{px}$  : dimensione della diagonale in pixel. Per il sensore Sony IMX307 è pari a 2203px;
- $W_{mm}$  : dimensione orizzontale dell'oggetto da riprendere (in mm);
- $H_{mm}$  : dimensione verticale dell'oggetto da riprendere (in mm);
- $imgW_{mm}$  : dimensione orizzontale della proiezione dell'oggetto sul sensore (in mm);

- $imgH_{mm}$ : dimensione verticale della proiezione dell'oggetto sul sensore (in mm);
- $imgW_{px}$ : dimensione orizzontale della proiezione dell'oggetto sul sensore (in pixel);
- $imgH_{px}$ : dimensione verticale della proiezione dell'oggetto sul sensore (in pixel);
- **Risoluzione fisica del sensore.** Numero di pixel del sensore ( $SensorW_{px} \cdot SensorH_{px}$ ). Si misura in MPixels (1 MPixel = 1000000px). Per il sensore Sony IMX307 si ha  $K=2.07$  MPixels;
- **Fattore di conversione** ( $\gamma_{mm \rightarrow px}$ ) (misurato in pixel/mm). Si definisce come rapporto fra le dimensioni del sensore in pixel e le dimensioni fisiche del sensore in mm. Nell'ipotesi che i pixel abbiano forma quadrata, può assumersi valida la seguente relazione

$$\gamma_{mm \rightarrow px} = \frac{SensorW_{px}}{SensorW_{mm}} = \frac{SensorH_{px}}{SensorH_{mm}} = \frac{SensorDiag_{px}}{SensorDiag_{mm}} \quad (1)$$

Il fattore di conversione permette di legare agevolmente le dimensioni fisiche del sensore al numero di pixel corrispondenti e viceversa, ed è quindi legato alla risoluzione [CCD01] del sensore mentre è indipendente dalle caratteristiche dell'oggetto inquadrato. Dall'eq. (1) è possibile ricavare che per il sensore Sony IMX307 il valore di  $\gamma_{mm \rightarrow px}$  è pari a **341.007 px/mm**.

Nell'ipotesi di assenza di aberrazioni geometriche, sussiste inoltre la relazione:

$$\gamma_{mm \rightarrow px} = \frac{imgW_{px}}{imgW_{mm}} = \frac{imgH_{px}}{imgH_{mm}} \quad (2)$$

- **Zoom factor** ( $z$ ): è parametro compreso tra 0 (0%) e 1 (100%) che, nei sistemi con ottica di tipo meccanico, indica la posizione di massima e minima distanza del centro ottico della lente dal sensore;
- **Magnification factor**  $m(D, z)$ : Quando viene inquadrato un oggetto rettangolare di dimensioni pari a  $(W_{mm}; H_{mm})$ , sul sensore si forma un'immagine, detta *proiezione*, di dimensioni  $(imgW_{mm}; imgH_{mm})$ . Il magnification factor è legato alle dimensioni suddette dalla relazione:

$$m(D, z) = \frac{W_{mm}}{imgW_{mm}} = \frac{H_{mm}}{imgH_{mm}} \quad (3)$$

Nei sistemi con ottica di tipo meccanico, il magnification factor dipende dalla distanza  $D$  dell'oggetto dalla lente e dallo zoom factor  $z$ .

- **Lunghezza focale** ( $F(z)$ ): è la distanza (in mm) tra il centro ottico della lente ed il piano del sensore, detto anche piano della messa a fuoco [CCD03]. Nei sistemi con ottica di tipo meccanico dipende dalla posizione del centro ottico della lente e quindi è funzione dello zoom factor  $z$ .
- **Risoluzione oggetto** ( $R(D, z)$ ): si definisce come il rapporto tra la dimensione fisica (*width o height*) dell'oggetto inquadrato ed il numero di pixel (orizzontale o verticale) occupato dalla proiezione dell'oggetto sul sensore e si misura in mm/pixel, ovvero

$$R(D, z) = \frac{W_{mm}}{imgW_{px}} = \frac{H_{mm}}{imgH_{px}} \quad (4)$$

Il valore della risoluzione oggetto può essere interpretato come la minima distanza tra due punti sulla superficie dell'oggetto che deve essere presente affinché essi possano essere risolti (cioè, visti come distinti) dal sensore (se due punti sono a distanza minima R sulla superficie dell'oggetto, la loro distanza sul sensore sarà infatti pari a 1 pixel).

E' possibile dimostrare la seguente relazione:

(4b)

$$R(D, z) = \frac{W_{mm}}{imgW_{px}} = \frac{W_{mm}}{\gamma_{mm \rightarrow px} \cdot imgW_{mm}} = \frac{m(D, z)}{\gamma_{mm \rightarrow px}}$$

Come si può vedere dall'eq. (4b), a differenza della risoluzione fisica del sensore che è un parametro intrinseco del sensore stesso, la risoluzione oggetto dipende dalla distanza D dal sensore e dal fattore di zoom z corrente, e quindi dalle impostazioni correnti della videocamera.

La risoluzione ed il magnification factor sono legati alla lunghezza focale del gruppo ottico. Tali relazioni possono essere ricavate come segue [CCD02].

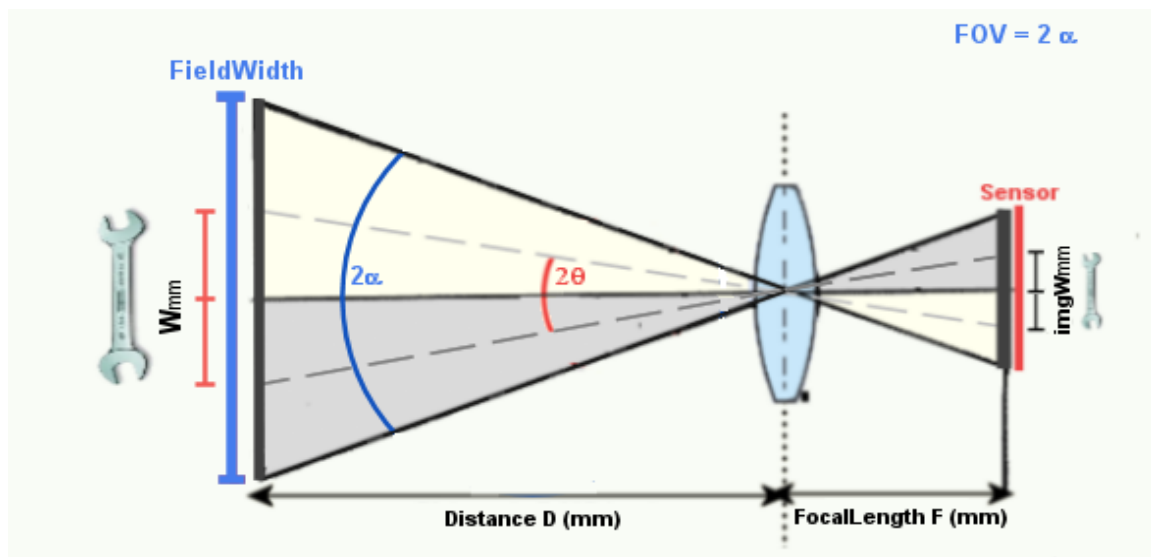


Fig. 25: Schema di una lente con lunghezza focale

Si consideri la Fig. 25 dalla quale è possibile giustificare geometricamente la seguente proporzione

(5)

$$W_{mm} : D = imgW_{mm} : F(z)$$

Dalla (5) si ottiene la relazione tra il magnification factor e la lunghezza focale

(5b)

$$\frac{W_{mm}}{imgW_{mm}} = m(D, z) = \frac{D}{F(z)}$$

Per cui combinando la relazione suddetta con l'equazione (4b) si ottiene:

(6)

$$R(D, z) = \frac{m(D, z)}{\gamma_{mm \rightarrow px}} = \frac{1}{\gamma_{mm \rightarrow px}} \cdot \frac{D}{F(z)}$$

E' interessante osservare come aumentando la distanza dell'oggetto, aumenti R, essendo essa la minima distanza in mm che il sensore è in grado di apprezzare per un singolo pixel. Ciò può essere giustificato osservando che, se un oggetto viene allontanato dal sensore, la sua proiezione diviene più piccola e quindi due punti sulla sua superficie, per essere visti come distinti dal sensore, devono trovarsi ad una distanza R maggiore.

Combinando l'Eq. (3) e la (5b) si ottiene inoltre:

(7)

$$\frac{imgW_{mm}}{W_{mm}} = \frac{imgH_{mm}}{H_{mm}} = \frac{F(z)}{D}$$

**Field of View (FOV):** Il FOV è un angolo che indica la regione che può essere catturata da un gruppo ottico. Un punto che si trova ad una posizione angolare che è al di fuori del FOV finirà fuori dal campo visivo e non verrà inquadrato.

Con riferimento alla Fig. 25 il FOV coincide con il doppio dell'angolo  $\alpha$ . Noto il FOV e la distanza D fra il gruppo ottico e l'oggetto da inquadrare, la massima dimensione lineare che può essere inquadrata (*FieldWidth*) può essere ottenuta con la relazione seguente:

(8)

$$FieldWidth(z) = 2 \cdot D \cdot \tan \frac{FOV(z)}{2}$$

### 3.2 Calcolo della minima distanza ammissibile

Le relazioni precedenti possono essere usate per calcolare la minima e la massima distanza D tra l'oggetto e il gruppo ottico, di cui si assume in seguito noto lo zoom factor e la lunghezza focale.

Il valore minimo di D dipende dalle dimensioni dell'oggetto e del sensore. Infatti, se la proiezione dell'oggetto superasse le dimensioni del sensore, una parte dell'oggetto non verrebbe ripresa (fenomeno del *cropping*).

Per calcolare la minima distanza ammissibile per un oggetto, poniamo quindi la condizione:

(9)

$$imgW_{mm} \leq SensorW_{mm}$$

Analoga condizione occorre imporre anche per l'altra dimensione:

(9b)

$$imgH_{mm} \leq SensorH_{mm}$$

Sostituendo nella (9)  $imgW_{mm}$  e usando la (7) è possibile ricavare D ottenendo

(10)

$$D \geq W_{mm} \cdot \frac{F(z)}{SensorW_{mm}}$$

Ragionando analogamente per l'altra dimensione dell'oggetto e del sensore, si ottiene

(10b)

$$D \geq H_{mm} \cdot \frac{F(z)}{SensorH_{mm}}$$

Posto quindi

(11)

$$D^{MIN1}(z) = W_{mm} \cdot \frac{F(z)}{SensorW_{mm}}$$

$$D^{MIN2}(z) = H_{mm} \cdot \frac{F(z)}{SensorH_{mm}}$$

la minima distanza ammissibile per soddisfare le relazioni (10) e (10b) è data da:

(12)

$$D^{MIN} = \max(D^{MIN1}; D^{MIN2})$$

### 3.3 Calcolo della massima distanza ammissibile

Nella Eq.(6) abbiamo visto che aumentando la distanza  $D$ , aumenta anche la risoluzione oggetto  $R(D, z)$  ovvero la minima distanza apprezzabile da un singolo pixel. Applicando la definizione di  $R(D, z)$  e successivamente l'Eq. (6) (consideriamo per semplicità solo la dimensione orizzontale) si ha :

(13)

$$imgW_{px} = \frac{W_{mm}}{R(D, z)} = W_{mm} \cdot \gamma_{mm \rightarrow px} \cdot \frac{F(z)}{D}$$

La massima distanza ammissibile per un oggetto di dimensioni  $W_{mm}$  e  $H_{mm}$  può essere quindi ricavata calcolando a quale distanza i valori di  $imgW_{px}$  e  $imgH_{px}$  divengono pari ad 1.

Imponendo  $imgW_{px} = 1$  nell'eq.(13) e portando  $D$  al primo membro si ottiene:

(14a)

$$D^{MAX1} = W_{mm} \cdot \gamma_{mm \rightarrow px} \cdot F(z)$$

Ripetendo i passaggi per la dimensione verticale, otteniamo:

(14b)

$$D^{MAX2} = \gamma_{mm \rightarrow px} \cdot H_{mm} \cdot F(z)$$

La distanza massima ammissibile è data dal minimo tra i due valori appena ottenuti.

(14c)

$$D^{MAX} = \min(D^{MAX1}; D^{MAX2})$$

### 3.4 Calcolo delle massime dimensioni di un oggetto

Se la distanza tra l'oggetto da inquadrare e il sensore è fissata a priori, con lo stesso modello è possibile determinare le dimensioni massime ammissibili per l'oggetto atte ad evitare il fenomeno del cropping, date dalle seguenti relazioni

(15)

$$W_{mm}^{MAX} \leq m(D, z) \cdot SensorW = SensorW \cdot \frac{D}{F(z)}$$

$$H_{mm}^{MAX} \leq m(D, z) \cdot SensorH = SensorH \cdot \frac{D}{F(z)}$$

### 3.5 Calcolo della lunghezza focale

Le equazioni precedenti possono essere usate a condizione di conoscere la lunghezza focale  $F(z)$  del sensore ottico. I valori di lunghezza focale per le due posizioni limite dello zoom ( $z=0$  e  $z=1$ ) sono in genere forniti dal produttore ma possono essere validati sperimentalmente per mezzo di misurazioni. Per la videocamera SV3C usata nel progetto si hanno i seguenti valori

(16)

$$F_{z=0\%} = 2.70\text{mm}$$

$$F_{z=100\%} = 13.50\text{mm}$$

Si sono però osservati degli scostamenti fra i valori teorici e quelli sperimentali a seguito dei quali sono stati introdotti nel tool dei fattori di correzione che permettono di ottenere valori più consistenti con le misure sperimentali.

Per poter poi considerare anche valori di zoom intermedi tra i valori limite 0 e 1, si è assunto che la lunghezza focale fosse una funzione lineare del fattore di zoom  $z$  e legata ad esso dalla relazione seguente:

(17)

$$F_{mm}(z) = F_{z=0\%} \cdot (1 - z) + F_{z=100\%} \cdot z$$



### 3.6 Il tool DistanceEvaluationXLSX

Fattore zoom (0-100)		100	Lunghezza focale (mm)						
Caratteristiche geometriche del sensore IMX307									
Risoluzione scelta (0,1)		1							
Sensor Width (pixels)		640	Risoluzioni disponibili						
SensorDiagonal (px)		790.4135815	352	1080	640	352	SenAlpha (angolo in basso a sinistra)		
Sensor Width (mm)		5.395463668							
ConvFactor Gamma [mm->px] (px/mm)		113.0671179	Sensor Height (mm)						
			3.553						
<b>Calcolo fattore di magnificazione e dimensioni oggetto inquadrato (<a href="https://www.scantips.com/lights/fieldviewmath.html">https://www.scantips.com/lights/fieldviewmath.html</a>)</b>									
Width oggetto (m)		30	Height oggetto (m)						
			30						
Distanza (m)		0.5	1	2	3	4	5	6	7
Distanza (mm)		500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Magnification factor (D/Foclength)		52.04901352	104.098027	208.1960541	312.2940811	416.3921081	520.4901352	624.5881622	728.6861892
Proiezione imgW sul sensore (mm)		576.3798	288.1899	144.09495	96.0633	72.047475	57.63798	48.03165	41.16998571
Proiezione lngH sul sensore (mm)		576.3798	288.1899	144.09495	96.0633	72.047475	57.63798	48.03165	41.16998571
Proiezione imgW sul sensore (px)		65169.60279	32584.80139	16292.4007	10861.60046	8146.200348	6516.960279	5430.800232	4654.971628
Proiezione lngH sul sensore (px)		65169.60279	32584.80139	16292.4007	10861.60046	8146.200348	6516.960279	5430.800232	4654.971628
Max Width oggetto(m)		0.2808129	0.5616259	1.1232518	1.6848777	2.2465036	2.8081295	3.3697554	3.9313813
Max Height oggetto(m)		0.1849301	0.3698603	0.7397206	1.1095809	1.4794412	1.8493015	2.2191617	2.5890220
Risoluzione oggetto R [px->mm] (mm/px)		0.460337216	0.920674631	1.841349262	2.762023893	3.682698524	4.603373155	5.524047786	6.444722417
AngleView orizzontale (gradi)		176.181695	172.371850	164.810713	157.380135	150.137166	143.130102	136.397181	129.966213
Max AngleView orizzontale (gradi)		31.370859	31.370859	31.370859	31.370859	31.370859	31.370859	31.370859	31.370859
AngleView verticale (gradi)		176.181695	172.371850	164.810713	157.380135	150.137166	143.130102	136.397181	129.966213
Max AngleView verticale (gradi)		20.954696	20.954696	20.954696	20.954696	20.954696	20.954696	20.954696	20.954696
Cropping		VERO	VERO	VERO	VERO	VERO	VERO	VERO	VERO
<b>Calcolo massima e minima distanza compatibile con la risoluzione oggetto desiderata</b>									
Min pixel-projection ratio P accettabile (pixel/mm)		2	Max risoluzione oggetto P accettabile						
Distanza compatibile con Min pixel-projection ratio P (in mm)		543.08002	Distanza compatibile con Max Risol						
Distanza compatibile con Min pixel-projection ratio P (in m)		0.5430806	Distanza compatibile con Max Risol						
<b>Calcolo massima e minima distanza ammissibile</b>									
Min distanza ammissibile (in mm)		81111.70942							
Min distanza ammissibile (in m)		81.11170942							
Max distanza ammissibile (in mm)		32584801.39							
Max distanza ammissibile (in m)		32584.80139							
<b>Valori specifici per distanza personalizzata</b>									
Distanza desiderata (mm)		500							
Magnification factor		52.04901352							
Max Width oggetto (mm)		280.8129466							
Max Height oggetto (mm)		184.530145							
Risoluzione oggetto R [px->mm] (mm/px)		0.460337216							

Fig. 26: Il tool DistanceEvaluationXLSX

Le relazioni suddette sono state utilizzate per realizzare un foglio di calcolo (mostrato in Fig. 26) che, a partire dalle dimensioni fisiche dell'oggetto da inquadrare e dalla risoluzione del sensore, può essere utilizzato per calcolare la distanza minima e massima a cui è possibile posizionare l'oggetto, oltre che l'accuratezza del sistema (risoluzione oggetto) per differenti valori del fattore di zoom.

Nella Tab. 1 sono riportati per alcune possibili dimensioni degli oggetti da inquadrare, le distanze e le risoluzioni calcolate dal tool nel caso specifico delle cam SV3C.

W (m)	H (m)	z	Dmin	Dmax	R (mm/px)
5	3	0	3.383	1238.074	8.197
5	3	1	8.903	3258.480	8.197
15	10	0	10.273	4126.914	24.892
15	10	1	27.037	10861.600	24.892
50	30	0	33.826	12380.741	81.965
50	30	1	89.027	32584.801	81.965

Tab. 1: Distanze minime e massime ammesse per diverse dimensioni degli oggetti inquadrati

## 4 Dimensionamento dello storage

Un altro dei problemi affrontati in fase di progettazione del sistema di videoregistrazione è stato il dimensionamento delle risorse di storage necessarie per la memorizzazione dei file video.

Le risorse di storage necessarie sono legate ai codec utilizzati e al tempo di registrazione. Il processo di compressione dei file video avviene in due fasi:

- Le videocamere eseguono una prima compressione del flusso video con uno dei codec supportati dal relativo firmware (H264, H265, MJPEG);
- Il server provvede a decomprimere il flusso video e a ricomprimerlo in formato H264 (indipendentemente dal codec della cam) per poi archiviare il file video.

In prima approssimazione è possibile considerare le due fasi di compressione indipendenti e pertanto le risorse di storage possono essere dimensionate considerando esclusivamente i parametri del codec H264 usato sul server nella seconda fase. In particolare, il rapporto di compressione desiderato può essere impostato da ZM mediante il parametro **CRF** (*compression factor*). I valori ammessi di CRF sono compresi tra 1 (nessuna compressione) e 53 (massima compressione). Il valore di default è pari a 23.

Sono stati quindi eseguiti dei test con una videocamera SV3C il cui firmware prevede la trasmissione di due flussi video con i seguenti parametri di default:

- **Stream1:** risoluzione 1920x1080px. Bitrate 1536 Kbps;
- **Stream2:** risoluzione 640x352px. Bitrate 512 Kbps.

SV3C 1920x1080px H264 HighProfile	KB/s	Occupazione stimata 8h 1cam (MB)
CRF 23	92.9381	2613.8853
CRF 25	45.0027	1265.7011
CRF 27	33.9242	954.1180
CRF 29	22.1055	621.7175
CRF 31	16.2453	456.8987
CRF 33	9.1316	256.8260
CRF 35	7.3218	205.9250

Tab. 2: Occupazione stimata per 1 cam e 8 ore di flusso video memorizzato (1920x1080px)

Per entrambi i flussi video sono stati eseguiti dei test variando il valore del CRF tra 23 e 35, per determinare l'occupazione su disco stimata per la registrazione di un flusso video per una durata di 8h. I risultati per lo Stream1 (lo stream a più alta risoluzione) sono mostrati in Tab. 2.

Come è possibile osservare dalla Tab. 2, le dimensioni dei file variano da 205MB a 2.6GB a seconda del fattore di compressione selezionato. Occorre osservare che dal fattore di compressione dipende anche la qualità del video.

Nella Tab. 3 è possibile confrontare le dimensioni dei file ottenute per i due stream nel caso di CRF=25.

E' possibile osservare come, a seguito della compressione, il video a bassa risoluzione richieda un file di dimensione 8 volte inferiore.

H264 High Profile	KB/s	Occupazione stimata 8h 1cam (MB)
SV3C, 1920x1080px, CRF 25	45.0027	1265.7011
SV3C, 640x352px, CRF 25	5.5396	155.7999

*Tab. 3: Occupazione stimata per 1 cam e 8 ore di flusso video memorizzato (1920x1080px e 640x352 px)*

Sulla base dei risultati sperimentali è possibile affermare che un sistema di storage di 500GB può contenere un mese di registrazioni considerando fino a 4 cam ad alta risoluzione e riprese h24.

Nell'ambito dell'attività, si è misurata anche l'occupazione di banda dei flussi video prodotti dalle cam SV3C per diversi profili del codec H264 e per diverse risoluzioni. I risultati delle misure sono mostrati in Tab. 4:

	1 cam KB/s
SV3C, H264 HighProfile, 1920x1080px, 1536 kbps VBR, CRF 25	53.3400
SV3C, H264 BaseLine, 1920x1080px, 1536 kbps VBR, CRF 25	85.0000
SV3C, H264 MainLine, 1920x1080px, 1536 kbps VBR, CRF 25	75.9700
SV3C, H265 MainProfile, 1920x1080px, 1536 kbps VBR, CRF 25	88.3500
SV3C, H264 HighProfile, 640x352px, 512 kbps VBR, CRF 25	14.7700

*Tab. 4: Occupazione di banda per 1 cam (cam to main-server)*

Come si può osservare, l'uso del profilo **H264 HighProfile**, garantisce la minore occupazione di banda sulla rete. Nei test è stato anche verificato che l'uso di altri profili di compressione di fatto non fornisce vantaggi per quanto riguarda la qualità dell'immagine.

Pertanto, si è deciso di usare il profilo H264 HighProfile per ridurre l'occupazione di banda sulla rete.

## 5 Appendice A: Caratteristiche tecniche delle cam utilizzate

In questa sezione vengono riportate le caratteristiche dei dispositivi di ripresa (cam e termocamere) utilizzati per il progetto.

<p><b>Videocamera SV3C SD5BW-1080PS-HX</b></p>	<p>Supporto per visione diurna (a colori) e notturna (infrarossi)</p> <p>Risoluzione 1920×1080</p> <p>Tipo di sensore: Sony IMX307 da 2.0 megapixel</p> <p>Tre led ad infrarossi per illuminazione notturna</p> <p>Supporto dei formati di compressione video H.264, H.265</p> <p>Supporto wireless: standard IEEE 802.11 b/g/n</p> <p>Compatibilità ONVIF 2.4</p> <p>Camera motorizzata. Angolo di rotazione orizzontale: 0°-355°, Verticale 0°-120°</p> <p>Alimentazione: DC 12V°</p> <p>Temperature operative: da -20°C (-4°F) a +60°C (+140°F)</p> <p>Livelli di umidità ammessi: dal 10% al 90%</p> <p>Supporto per un pulsante di reset</p>
<p><b>Termocamera ad infrarossi FURTG267</b> [FLIR01]</p>	<p><b>Dati ottici e immagine</b></p> <p>Risoluzione IR 160 × 120 pixel</p> <p>Miglioramento digitale dell'immagine</p> <p>Sensibilità termica &lt; 70 mK</p> <p>Campo visivo (FOV) 57° × 44°</p> <p>Distanza minima di messa a fuoco 0,3 m</p> <p>Rapporto distanza/area 24:1</p> <p>Frequenza immagine 8,7 Hz</p> <p>Messa a fuoco fissa</p> <p>Pitch sensore 12 μm</p> <p><b>Presentazione immagine</b></p> <p>Risoluzione display 320 × 240 pixel</p> <p>Dimensione schermo 2,4 pollici, verticale</p> <p>Tavolozze colori Ferro, Arcobaleno, Bianco caldo, Nero caldo, Artico, Lava</p> <p>Regolazione immagine Automatica</p> <p>Modalità immagine MSX® (Multi Spectral Dynamic Imaging). Visiva con lettura di temperatura</p> <p>Galleria Sì</p> <p><b>Misure e analisi</b></p> <p>Intervallo di temperature da -25 °C a 380 °C (da -13 °F a 716 °F)</p> <p>Accuratezza di misura da -25 °C a 50 °C (da -13 °F a 122 °F): fino a ±3 °C (±7 °F)</p> <p>da 50 a 100 °C (da 122 a 212 °F): ±1,5 °C (±3 °F) o ±1,5%, il maggiore dei due</p> <p>da 100 °C a 380 °C (da 212 °F a 716 °F): ±2,5 °C (±6 °F) o ± 2,5% il maggiore dei due</p> <p>Risoluzione temperatura IR 0,1 °C (0,2 °F)</p> <p>Ripetibilità della lettura ±1% della lettura o ±1 °C (2 °F), il maggiore dei due</p> <p>Tempo di risposta 150 ms</p> <p>Misurazione termometro IR Scansione continua</p> <p>Distanza minima di misura 0,26 m</p> <p>Range Tipo K Sonda Tipo K inclusa: fino a 260 °C (500 °F)</p> <p>Accuratezza Tipo K ± (1,0% + 3 °C (7 °F))</p> <p>Puntatore a Spot Punto centrale on/off</p>

### **Funzioni di servizio e configurazione**

Comandi di configurazione: Impostazione unità di misura, lingua, formati data e ora

Luminosità schermo (alta, media, bassa)

Galleria, cancellazione di immagini

Correzione dell'emissività Si: 4 livelli preimpostati con regolazione personalizzata da 0,1 a 0,99

### **Memorizzazione immagini e fotocamera**

Capacità di memorizzazione di scheda da 4 GB: 50.000 immagini

Formato file immagine JPEG con dati di temperatura nei singoli punti

Risoluzione fotocamera digitale 2 MP (1600×1200 pixel)

Campo visivo (FOV) 71°×56°, si adatta all'ottica IR

Illuminatore 100 lumen LED, on/off

Laser Classe 1 Proietta il punto centrale e circonda l'area di misurazione per indicarne le dimensioni

### **Interfacce di comunicazione dati**

Bluetooth® BLE

USB Tipo C: trasferimento dati, alimentazione

### **Ulteriori specifiche**

Tipo batteria Batteria ricaricabile Li-ion 3,7 V

Autonomia della batteria 5 di uso continuo

Tempo di carica della batteria 4 ore al 90%

Gestione alimentazione Regolabile; off, 5 min, 15 min, 30 min

Urti/Vibrazioni 25 g (IEC 60068-2-27); 2 g (IEC 60068-2-6)

Cadute Progettata per sopportare cadute da 2 m

Peso 0,394 kg

Dimensioni (L × P × A) 210 × 64 × 81 mm

## 6 Bibliografia

- [SITEBUILD0] Philipp Geyer, *Systems modelling for sustainable building design*, Advanced Engineering Informatics, Volume 26, Issue 4, 2012, Pages 656-668, ISSN 1474-0346, Disponibile online: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.04.005>
- [SITEBUILD1] Ioannis Brilakis, Man-Woo Park, Gauri Jog, *Automated vision tracking of project related entities*, Advanced Engineering Informatics, Volume 25, Issue 4, 2011, Pages 713-724, ISSN 1474-0346, Disponibile online: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.01.003>
- [SITEBUILD2] Daeho Kim, Meiyin Liu, SangHyun Lee, Vineet R. Kamat, *Remote proximity monitoring between mobile construction resources using camera-mounted UAVs*, Automation in Construction, Volume 99, 2019, Pages 168-182, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.014>
- [SITEBUILD3] Wang, Zhichen, et al. *Vision-Based Framework for Automatic Progress Monitoring of Precast Walls by Using Surveillance Videos during the Construction Phase*. Journal of Computing in Civil Engineering, 2021, 35.1: 04020056.
- [SITEBUILD4] Qi Fang, Heng Li, Xiaochun Luo, Lieyun Ding, Timothy M. Rose, Wangpeng An, Yantao Yu, *A deep learning-based method for detecting non-certified work on construction sites*, Advanced Engineering Informatics, Volume 35, 2018, Pages 56-68, ISSN 1474-0346, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.01.001>.
- [SITEBUILD5] Weili Fang, Lieyun Ding, Botao Zhong, Peter E.D. Love, Hanbin Luo, *Automated detection of workers and heavy equipment on construction sites: A convolutional neural network approach*, Advanced Engineering Informatics, Volume 37, 2018, Pages 139-149, ISSN 1474-0346, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.05.003>
- [SITEBUILD6] S. Zollmann, C. Hoppe, S. Kluckner, C. Poglitsch, H. Bischof and G. Reitmayr, *Augmented Reality for Construction Site Monitoring and Documentation*, in Proceedings of the IEEE, vol. 102, no. 2, pp. 137-154, Feb. 2014, doi: 10.1109/JPROC.2013.2294314.
- [SITEBUILD7] PlanRadar. Sito web: <https://www.planradar.com>
- [SITEBUILD8] OTS SmartTech, *Rapid Deployment Security Solution*. Sito Web: <https://ots-iotsolutions.com/smart-city-applications/construction-monitoring-ap/>
- [SITEBUILD9] Leica Geosystems, *Monitoring of a construction site*, Sito Web: <https://leica-geosystems.com/case-studies/building/long-term-monitoring-of-a-construction-site>
- [BIM00] A. N. Ede, O. M. Olofinnade and J. O. Sodipo, *Use of building information modelling tools for structural health monitoring*, 2017 International Conference on Computing Networking and Informatics (ICCNi), 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCNi.2017.8123801.
- [MASKRCNN] Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar, Ross Girshick; *Mask R-CNN*, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 2961-2969

- [DEEPSORT] N. Wojke, A. Bewley and D. Paulus, *Simple online and realtime tracking with a deep association metric*, 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2017, pp. 3645-3649, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296962.
- [SIFT00] Lowe, D. G., *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- [SURF00] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L. V. Gool, *Speeded-up robust features (SURF)*, Computer Vision and Image Understanding, no. 110, pp. 346–359, 2008.
- [RTSP01] H. Schulzrinne, A. Rao, R. Lanphier, RFC2326, *Real Time Streaming Protocol*, Apr 1998. Disponibile online: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2326>
- [VLC01] *VLC Media Player*. Disponibile online: <https://www.videolan.org/index.it.html>
- [LIBVLC01] *libVLC library*. Disponibile online: <https://www.videolan.org/vlc/libvlc.html>
- [REST01] R. T. Fielding, *Architectural styles and the design of network-based software architectures*, Ph.D. dissertation, University of California, Irvine, 2000
- [ONVIF01] *ONVIF protocol*. Website: <https://www.onvif.org/>
- [ZMREST01] *ZoneMinder RESTful API*. Disponibile online: <https://zoneminder.readthedocs.io/en/stable/api.html>
- [ZMWEBC01] *ZoneMinder User Guide. Understanding the Web Console*. Disponibile online: <https://zoneminder.readthedocs.io/en/stable/userguide/gettingstarted.html#understanding-the-web-console>
- [MQTT01] *MQTT Protocol*. Disponibile online: <https://mqtt.org/>
- [MQTT02] M. Yue, Y. Ruiyang, S. Jianwei and Y. Kaifeng, *A MQTT Protocol Message Push Server Based on RocketMQ*, 2017 10th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2017, pp. 295-298, doi: 10.1109/ICICTA.2017.72.
- [OpenCV01] Bradski, Gary, and Adrian Kaehler. *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*, O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [SHINO01] *Shinobi*. Disponibile online: <https://shinobi.video/>
- [ISPY01] *iSpy*. Disponibile online: <https://www.ispyconnect.com/>
- [AGENT01] *Agent DVR*. Disponibile online: <https://www.ispyconnect.com/userguide-agent-dvr.aspx>
- [BLUE01] *Blue Iris*. Disponibile online: <https://blueirissoftware.com/>
- [JWS01] *Java Web Start*. Disponibile online: [https://www.java.com/it/download/help/java\\_webstart.html](https://www.java.com/it/download/help/java_webstart.html)
- [FLIR01] *FLIR TG267 Specifications*. Disponibile online: <https://www.flir.it/products/tg267/>



- [MR3020] *TL-MR3020, Router 3G/4G Portatile Wireless N 150Mbps*  
<https://www.tp-link.com/it/home-networking/3g-4g-router/tl-mr3020/>
- [MR3020v1] TP-Link TL-MR3020 OpenWRT support. Disponibile online:  
<https://openwrt.org/toh/tp-link/tl-mr3020>
- [CODEC01] *Comparison of video codecs*. Disponibile online:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_video\\_codecs](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_video_codecs)
- [JPEG01] ISO/IEC 10918-1:1994 *Information technology — Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines*, Disponibile online:  
<https://www.iso.org/standard/18902.html>
- [HTML5\_01] G. Zhu, F. Zhang, W. Zhu and Y. Zheng, *HTML5 based media player for real-time video surveillance*, 2012 5th International Congress on Image and Signal Processing, 2012, pp. 245-248, doi: 10.1109/CISP.2012.6469806.
- [VP3CODEC] *VP3 codec*. Vedere: <https://en.wikipedia.org/wiki/VP3>
- [VP8CODEC] J. Bankoski, P. Wilkins and Y. Xu, *Technical overview of VP8, an open source video codec for the web*, 2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICME.2011.6012227.
- [VP9CODEC] D. Mukherjee *et al.*, *The latest open-source video codec VP9 - An overview and preliminary results*, 2013 Picture Coding Symposium (PCS), 2013, pp. 390-393, doi: 10.1109/PCS.2013.6737765.
- [THEORA01] Xiph.Org Foundation, *Theora Specifications*, Disponibile online:  
<https://xiph.org/theora/doc/Theora.pdf>
- [XVID01] *Xvid codec*. Disponibile online:  
<https://www.xvid.com/>
- [DIVX01] *DivX codec*. Disponibile online:  
<https://www.divx.com/>
- [ISOIEC\_MP1] ISO/IEC 11172-2:1993, *Information technology — Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s — Part 2: Video*, Disponibile online:  
<https://www.iso.org/standard/22411.html>
- [ISOIEC\_MP2] ISO/IEC 13818-2:2013, *Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information — Part 2: Video*, Disponibile online:  
<https://www.iso.org/standard/61152.html>
- [ISOIEC\_MP4] ISO-IEC ISO/IEC 14496-1:2010, *Coding of audio-visual objects*. Disponibile online:  
<https://www.iso.org/standard/55688.html>
- [ISOIEC\_MP4ASP] ISO/IEC 14496-2:2004, *Information technology — Coding of audio-visual objects — Part 2: Visual*. Disponibile online: <https://www.iso.org/standard/39259.html>

- [ISOIEC\_H264] ISO/IEC 14496-10:2020, *Information technology — Coding of audio-visual objects — Part 10: Advanced video coding*. Disponibile online:  
<https://www.iso.org/standard/75400.html>
- [ISOIEC\_H265] ISO/IEC 23008-2:2020, *Information technology — High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments — Part 2: High efficiency video coding*. Disponibile online:  
<https://www.iso.org/standard/75484.html>
- [SONY01] *Sony IMX307 LQD Product Information*. Disponibile online:  
[https://www.sony-semicon.co.jp/products/common/pdf/IMX307LQD\\_LQR\\_Flyer02.pdf](https://www.sony-semicon.co.jp/products/common/pdf/IMX307LQD_LQR_Flyer02.pdf)
- [CCD01] *Opto-Engine, Sensor size and resolution*. Disponibile online:  
<https://www.opto-e.com/basics/sensor-sizes-and-resolution>
- [CCD02] *Math of Field of View (FOV) for a Camera and Lens*. Disponibile online:  
<https://www.scantips.com/lights/fieldofviewmath.html>
- [CCD03] *Lunghezza focale*. Articolo di Wikipedia online:  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Lunghezza\\_focale](https://it.wikipedia.org/wiki/Lunghezza_focale)
- [OPENWRT01] *OpenWRT Documentation*. Disponibile online:  
<https://openwrt.org/docs/start>
- [OPENWRT02] *Opkg package manager*. Disponibile online:  
<https://openwrt.org/docs/guide-user/additional-software/opkg>
- [MJPG\_STREAM0] *Il software mjpg-streamer*. Disponibile online:  
<https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>



**Giuseppe Campobello** nasce a Messina, Italia, nel 1975. Consegue la Laurea in Ingegneria Elettronica (summa cum laude) e il Dottorato di Ricerca (Ph.D.) in “Tecnologie Avanzate per l'Ingegneria dell'Informazione” presso l'Università degli Studi di Messina, rispettivamente nel 2000 e nel 2004. Dal dicembre del 2006 è Ricercatore Universitario del settore ING-INF/03 (Telecomunicazioni) presso l'Università degli Studi di Messina. Attualmente afferisce al Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina dove ricopre il ruolo di Professore Aggregato del settore Telecomunicazioni e responsabile del laboratorio di Comunicazioni Wireless. L'attività di ricerca, svolta sia in ambito universitario che in collaborazione con aziende ed enti di ricerca, si inquadra principalmente nell'ambito delle reti di telecomunicazioni e dell'elaborazione numerica dei segnali applicata alle telecomunicazioni e ai sistemi biomedicali. In particolare, l'attività di ricerca più recente è focalizzata sulle reti di sensori wireless e sull'Internet of Things. È autore di oltre sessanta articoli scientifici apparsi su riviste internazionali o presentati a conferenze internazionali ed è revisore di diverse riviste internazionali della IEEE. È inoltre membro del Gruppo Telecomunicazioni e Tecnologie dell'Informazione (GTTI) e del Microwave Engineering Center for Space Applications (MECSA).



**Filippo Battaglia** ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica dall'Università di Messina (summa cum laude) nel 2008 ed il Dottorato di ricerca (Ph. D.) in Ingegneria dell'Informazione dall'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria nel 2013. Attualmente è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina (settore ING-INF/03). I suoi interessi di ricerca riguardano l'elaborazione ed analisi dell'immagine, con particolare riferimento ai sistemi di riconoscimento facciale e degli oggetti, i sistemi operativi per architetture embedded, le comunicazioni su reti di sensori wireless, le architetture peer-to-peer per reti ibride, le comunicazioni LPWAN ed i sistemi real-time per comunicazioni in ambito industriale ed automotive. E' autore di 13 articoli scientifici, pubblicati in atti di conferenza e su rivista (IEEE ed Elsevier) ed è titolare di un brevetto internazionale. È membro del Gruppo Telecomunicazioni e Tecnologie dell'Informazione (GTTI) ed è stato parte, in qualità di reviewer, di diversi Technical Program Committee (TPC) per diverse conferenze internazionali.



**Nicola Donato** ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica all'Università degli Studi di Messina ed il dottorato di ricerca all'Università degli Studi di Palermo. Attualmente è professore Associato di Misure Elettriche ed Elettroniche presso il dipartimento di Ingegneria dell'Università di Messina. E' responsabile del laboratorio di Elettronica dei Sensori e dei Sistemi di Trasduzione (LESST). I suoi principali campi di ricerca riguardano la caratterizzazione e modellistica circuitale di dispositivi per applicazioni a microonde (0.05-40 GHz), la progettazione e realizzazione di sistemi di misura, lo sviluppo e caratterizzazione elettrica di sensori, la realizzazione di software per l'interfacciamento di strumentazione avanzata, lo studio delle prestazioni elettriche e

relativa modellizzazione circuitale di sensori di gas a film sottile (resistivi, capacitivi, BAW, SAW) e lo sviluppo e caratterizzazione di dispositivi organici ad eterogiunzione fotosensibili e celle fotovoltaiche ibride organico/inorganico. È coautore di più di 200 pubblicazioni scientifiche, ( H-index 30, cit. 3122, fonte Scopus). E' referee di numerose riviste internazionali quali IEEE Trans. IM e Sensors and Actuators; è inoltre componente dell'editorial board del Hindawi Journal of Sensors. È componente del consiglio direttivo del MECSA (Microwave Engineering Center for Space Applications) e responsabile dell'unità di ricerca GMEE (Associazione Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche) di Messina.



**Salvatore Serrano** è nato a Catania (Italia) nel 1972. Ha conseguito rispettivamente la laurea quinquennale in Ingegneria Informatica nel 1999 e il dottorato di ricerca in Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni nel 2003 presso l'Università degli Studi di Catania. Dal 2005 al 2007 ha lavorato come assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni dell'Università degli Studi di Catania occupandosi di riconoscimento dello stato emotivo degli individui attraverso l'analisi del segnale vocale inserito in un'attività di ricerca supportata da Telecom Italia Mobile (TIM).

Attualmente è ricercatore a tempo indeterminato e professore aggregato del settore telecomunicazioni presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina dove è anche responsabile del laboratorio "Telecomunicazioni". L'attività di ricerca riguarda l'area dell'elaborazione del segnale (codifica e riconoscimento della voce, elaborazione di segnali biomedicali, elaborazione del segnale per le telecomunicazioni) e le reti di telecomunicazioni (wireless mesh network, voice over IP e wireless sensor network). È autore di oltre quaranta articoli scientifici apparsi su riviste internazionali o presentati a conferenze internazionali, revisore di diverse riviste internazionali e fa parte dell'Editorial Board della rivista International Journal of Distributed Sensor Networks (IJDSN).