**Simulazione Esame di Stato 2024-2025**

**Indirizzo: INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI**

**Articolazione: TELECOMUNICAZIONI**

**SOLUZIONE**

**A) Progettazione dell’infrastruttura di rete**

1) Per collegare i due edifici del polo museale distanti 30 km, si propone un'architettura di rete così strutturata:

**si prevede come collegamento principale una rete in fi**bra ottica, mentre per il **collegamento di backup, si prevede un s**istema radio in banda licenziata.

L’uso della fibra ottica determina i seguenti vantaggi:

* Ampia banda passante: Supporta velocità fino a decine di Gbit/s
* Immunità alle interferenze elettromagnetiche
* Bassa attenuazione: consente collegamenti a lunga distanza senza ripetitori
* Alta sicurezza: difficile da intercettare fisicamente
* Peso e dimensioni ridotte: facilità di installazione

Per quanto riguarda gli aspetti negativi, si possono riassumere in:

* Costi di installazione: più elevati rispetto ad altre soluzioni
* Fragilità fisica: suscettibile a danneggiamenti durante i lavori stradali
* Ritardo di propagazione: presente ma minimizzato dall'alta velocità di trasmissione

La frequenza di cifra è un concetto fondamentale nelle telecomunicazioni ed indica la velocità di trasmissione dei dati in un sistema di comunicazione. I fattori che influenzano tali valori sono:

* Tipo di mezzo trasmissivo
* Qualità del segnale
* Tecnologia di modulazione
* Rapporto segnale/rumore

Per una distanza di 30 km e per una frequenza di cifra di 2,5 Gbit/s, si sceglie di utilizzare una fibra monomodale operante in terza finestra con le seguenti caratteristiche:

* Standard: ITU-T G.652.D (SMF-28)
* Attenuazione: 0,2 dB/km a 1550 nm
* Dispersione cromatica: 17 ps/(nm·km)

La tecnologia di trasmissione scelta è la DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing); la Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) è una tecnologia di trasmissione in grado di aumentare la larghezza di banda in quanto consente la trasmissione simultanea di molteplici segnali ottici su un singolo cavo in fibra.

La fibra monomodale è preferibile alla multimodale perché:

* Consente distanze maggiori (fino a 100 km senza rigenerazione)
* Supporta bit rate più elevati
* Ha minore attenuazione e dispersione modale

**La topologia prevista sarà del tipo p**unto-punto con router ridondati ad entrambe le estremità

La rete, pertanto, nel dettaglio, sarà composta da:

* 2 router principali (uno per edificio)
* 2 switch principali (uno per edificio)
* 2 apparati DWDM (optical transport network)
* 2 apparati radio per il collegamento di backup
* Firewall ridondanti per la sicurezza

Per calcolare la frequenza del segnale ottico, sappiamo che la fibra ottica scelta opera in terza finestra ad una lunghezza d'onda centrale λ= 1550 nm: la frequenza si calcola con la formula:

f = v / λ

Assumendo che la velocità della luce sia 3 × 10⁸ m/s e prendendo come riferimento l’indice di rifrazione della fibra ottica n ≈ 1,5, la velocità della luce nel mezzo si può calcolare con laformula

v= c/n ≈ 2 × 10⁸ m/s.

Tale valore, come è noto, è approssimato in quanto andrebbero presi in considerazione anche altri fattori come la differenza dell'indice di rifrazione fra il core ed il cladding, l'angolo di curvatura che si ottiene lungo il percorso della fibra, ecc; tenuto conto che in un millisecondo si coprono circa 200 km, per la distanza di progetto di 30 km si possono ritenere tali fattori trascurabili.

Pertanto

* v = 2 × 10⁸ m/s (velocità della luce nel mezzo)
* λ = 1550 × 10⁻⁹ m (lunghezza d’onda in metri)

Si calcola: f = (2 × 10⁸) / (1550 × 10⁻⁹) ≈ 1,29 × 10¹⁴ Hz

2) Per realizzare la rete di backup tramite un collegamento radio tra le due sedi, distanti 30 km, è necessario considerare diversi fattori:

- la tecnologia wireless punto-punto (PtP) su bande a 6 GHz, 11 GHz, 18 GHz o superiori è una soluzione normalmente adottata

- visibilità ottica (LoS - Line of Sight): essendo una distanza di 30 km, è fondamentale che non ci siano ostacoli (colline, edifici, alberi) tra le due sedi; si può utilizzare il calcolo dell’ellissoide di Fresnel per verificare l'assenza di interferenze.

- utilizzo di antenne direzionali ad alto guadagno per ottimizzare la trasmissione del segnale e di apparati full-duplex per garantire prestazioni elevate.

Per coprire la distanza di 30 km la frequenza scelta è di 11 GHz, poiché queste frequenze offrono buona copertura senza eccessiva attenuazione. Per dimensionare il collegamento radio tra le due sedi, utilizziamo l'equazione del bilancio di potenza (link power budget)*:*

LPrx= LPtx -Af – Asl-Asupp -Mf +Gt+Gr

Dove:

* LPrx è il livello di potenza in ricezione (dBm).
* LPtx è il livello di potenza in trasmissione (dBm).
* Gt e Gr sono i guadagni delle antenne trasmittente e ricevente (dB).
* Af è l’attenuazione complessiva nei cavi e connettori delle due antenne (dB).
* Asl è l’attenuazione dello spazio libero(dB)
* Asuppl è l’attenuazione supplementare
* Mf è il margine di fading

L'attenuazione in spazio libero si può calcolare con la formula:

Asl =32,5 + 20Log f(MHz)+ 20 Log D(km)= 32,5 + 20Log f(11000)+ 20 Log D(30)= 142,85 dB

Si ipotizza di trascurare l’attenuazione supplementare~~,~~ e le attenuazioni di cavi e connettori, inoltre si ritiene verificato l’ellissoide di Fresnel, per cui:

Asuppl=0, Af=0

LPrx= 30 – 142,85 -20 + 40+40 = - 52,85 dBm

Dobbiamo scegliere un ricevitore la cui sensibilità SRX sia pari a -53 dBm o inferiore per garantire il collegamento radio tra le due sedi; è possibile inoltre migliorare la qualità della connessione aumentando il guadagno delle antenne o mediante l’uso di amplificatori selettivi in ricezione.

3) Per calcolare la banda del segnale radio minima necessaria a garantire un throughput di 500 Mbit/s con S/N = 30 dB, innanzitutto si ritiene necessario descrivere cosa è la codifica di canale: con il termine codifica di canale si indicano le tecniche di codifica che permettono sia di aumentare la capacità del canale (e quindi la banda) e sia di rilevare e correggere gli eventuali errori. La capacità di canale C, a sua volta, rappresenta la massima quantità di informazione che un canale è in grado di trasmettere; affinché la trasmissione sia affidabile, la capacità C deve essere maggiore del bit rate R (numero di bit emessi dalla sorgente). Il bit rate R viene “trasportato” sul canale con una certa velocità di modulazione detta anche symbol rate. Ogni simbolo può rappresentare un bit oppure, se si usa una opportuna codifica di canale, più bit. Per quanto concerne la trasmissione dei dati, la codifica di sorgente ha il compito di rendere uniforme la rappresentazione dei simboli mediante l’uso di un codice comune; per la trasmissione specifica audio o video, la codifica di sorgente invece serve per ridurre il numero di bit al secondo necessario (riduzione della ridondanza), ottimizzando la banda occupata dal segnale da trasmettere

La capacità di canale in presenza di rumore bianco si determina con il teorema di Shannon:

C = B × log₂(1 + S/N) (bit/s)

dove B indica la banda del segnale da trasmettere.

Tale formula evidenzia che, per garantire una prefissata capacità di canale, più stretta è la larghezza di banda B e più alto deve essere il rapporto S/N , mentre più larga è la banda e più basso può essere S/N.

In riferimento al quesito posto, considerando un throughput pari alla capacità di canale, essendo:

• C = 500 Mbit/s

• S/N = 30 dB = 1000 (in scala lineare)

dalla formula inversa del teorema di Shannon si ricava la banda B:

B = C / log₂(1 + S/N)= 500 × 10⁶ / log₂(1001) ≈ 500 × 10⁶ / 9,97 ≈ 50,16 MHz.

Quindi l’uso di tale banda garantisce il requisito prestazionale richiesto.

Se si indica con S il numero di bit che possono essere trasmessi per ogni simbolo, per raggiungere la capacità massima del canale, dal teorema di Shannon considerando un symbol rate numericamente pari alla banda del canale, il numero di bit per simbolo (S) deve essere:

S = log₂(1 + S/N) ≈ log₂(1 + 1000) = log₂(1001) ≈ 9.97

Quindi ogni simbolo può rappresentare 10 bit; per quanto scritto in precedenza, più alto è il rapporto S/N (quindi più basso è il rumore) più informazione si può trasmettere per ogni simbolo.

Volendo indicare una tipologia di modulazione applicabile, ad esempio, essendo: 2^10 = 1024 gli stati possibili, la modulazione 1024-QAM (quadrature amplitude modulation) è idonea al nostro scopo.

Per cui: per un throughput di 500 Mbit/s e un S/N di 30 dB, è necessaria almeno una banda di 50 MHz; la frequenza di trasmissione di 11 GHz è un'opzione ottimale per la distanza di 30 km, in quanto è in grado di minimizzare attenuazione e interferenze. È necessario utilizzare antenne ad alto guadagno (circa 40 dBi) e un trasmettitore il cui livello di potenza sia pari a 30 dBm. Il collegamento è stato progettato con un margine di fading adeguato (20 dB) per garantire stabilità in condizioni atmosferiche variabili.

**B) Valutazione delle prestazioni della rete**

Per valutare le prestazioni di una rete in termini di capacità trasmissiva, affidabilità e qualità a livello fisico, in generale si possono utilizzare parametri quali:

1. latenza (latency);

2. jitter o delay variation (variazione di ritardo);

3. Round Trip Time (RTT) o tempo di andata e ritorno;

4. Throughput o goodput, è la velocità di informazione, o bit rate netto, messa a disposizione delle applicazioni che operano in rete;

5. perdita di pacchetti (packet loss);

6. banda (digitale), a livello fisico è la capacità trasmissiva nominale, corrispondente al bit rate lordo messo a disposizione dalla tecnologia dello strato fisico utilizzata.

1) In una comunicazione *bidirezionale con correzione d'errore* e controllo di flusso il parametro di interesse per quanto riguarda i ritardi è il tempo di andata-ritorno o *Round Trip Time* (RTT).

L'RTT può essere definito come il tempo che intercorre fra l'emissione di una PDU da parte di una sorgente e la ricezione della conferma di corretta ricezione (ACK) da parte della sorgente stessa.

L'RTT può essere determinato, nell’ipotesi di trascurare per semplicità la durata di una PDU, solo tenendo conto del:

* Tempo di propagazione nella fibra (andata e ritorno)
* Tempo di elaborazione negli apparati di rete

Il tempo di propagazione nella fibra ottica si determina tenendo conto della velocità di propagazione nel mezzo, che si è calcolata in precedenza, ed è circa pari a 2 × 10⁸ m/s, per cui il tempo di propagazione (in un senso) si calcola

t= Distanza /v= 30 km / (2 × 10⁸ m/s) = 0,15 ms, quindi il tempo di propagazione complessivo andata e ritorno è di 0,30 ms

Per quanto riguarda il tempo di elaborazione negli apparati: tenuto conto che gli apparati coinvolti nel percorso sono 2 router + 2 switch + 2 DWDM per un totale di 6 apparati e che il tempo di elaborazione è di 0,5 ms per apparato, si può determinare il tempo di elaborazione totale.

Tempo di elaborazione totale = 6 × 0,5 ms = 3 ms

Per cui:

RTT totale = 0,3 ms + 3 ms = 3,3 ms

Tenuto conto che, come richiesto dalla traccia, l’RTT deve essere **≤**10 ms , l’RTT calcolato della rete soddisfa il requisito prestazionale richiesto.

Nelle applicazioni VoIP (Voice over IP), il valore massimo raccomandato per l'RTT (Round Trip Time) è di 150 ms per mantenere una buona qualità della conversazione.

Ecco i valori di riferimento per l'RTT nelle applicazioni VoIP:

Ottimale: < 100 ms (qualità eccellente, conversazione fluida)

Accettabile: 100-150 ms (buona qualità, ritardo percepibile ma non fastidioso)

Problematico: 150-300 ms (qualità degradata, ritardi evidenti)

Inaccettabile: > 300 ms (conversazione difficile, frequenti sovrapposizioni).

Questi valori sono stati stabiliti da organizzazioni come l'ITU-T (International Telecommunication Union) nella raccomandazione G.114, che specifica che un ritardo one-way inferiore a 150 ms (quindi un RTT di circa 300 ms) è accettabile per la maggior parte delle applicazioni, ma per le comunicazioni VoIP di alta qualità si raccomanda un RTT massimo di 150 ms.

Per cui l’RTT calcolato soddisfa anche la comunicazione VoIP

2) Il termine throughput può essere impiegato per definire il bit rate netto che un qualsiasi strato OSI offre allo strato superiore, mentre il termine goodput viene impiegato per definire solo il bit rate netto (o throughput) a livello di applicazione.

L'overhead dei protocolli è l'insieme dei byte aggiuntivi necessari per la trasmissione dei dati, che non contengono il payload (contenuto utile) ma sono essenziali per la comunicazione.

Per la determinazione del throughput inizialmente si possono fare le seguenti ipotesi semplificative:

• assenza di errori e quindi di ritrasmissioni nel caso di protocollo di trasporto TCP;

• ottimizzazione della configurazione del protocollo TCP in modo tale da consentire l'emissione continua di PDU (segmenti) senza che il controllo di flusso determini sospensioni della trasmissione;

• si trascurano le fasi di inizializzazione e chiusura delle connessioni logiche, così come i ritardi introdotti dai mezzi trasmissivi e dagli apparati di rete;

• i frame Ethernet hanno un *payload* (campo data) avente la dimensione massima, pari a 1500 Byte, corrispondente all'MTU (*Maximum Transmission Unit*).

Pertanto, per il calcolo del throughput effettivo, si procederà a stimare il peso complessivo dell’overhead dei protocolli rispetto al frame. In questo modo detraendo alla frequenza di cifra il peso dell’overhead, si otterrà il bit rate netto. In base a queste considerazioni si procede al calcolo dell'overhead dei protocolli:

Ethernet: i componenti standard di un frame Ethernet sono i seguenti:

* Preambolo 7 byte + Start Frame Delimiter (1 byte) = 8 byte
* Header= indirizzi MAC: 12 byte (6 sorgente + 6 destinazione) + Tipo di frame: 2 byte= 14 byte
* Frame Check Sequence (FCS): 4 byte
* Inter-frame gap: 12 byte

Per cui l’overhead Ethernet in un frame è pari a 38 byte; tenuto conto che il payload è di 1500 byte, tale dimensione incide percentualmente sulla lunghezza complessiva di un frame per un valore calcolabile nel seguente modo:

(38/(38 + 1500)) × 100 ≈ 2.5%

Protocollo IP (IPv4):

* Versione: 4 bit
* Lunghezza header: 4 bit
* Type of Service: 8 bit
* Lunghezza totale: 16 bit
* Identificazione: 16 bit
* Flag: 3 bit
* Offset frammentazione: 13 bit
* Time to Live: 8 bit
* Protocollo: 8 bit
* Checksum header: 16 bit
* Indirizzo IP sorgente: 32 bit
* Indirizzo IP destinazione: 32 bit

Per cui la dimensione totale dell’header IPv4 è di 20 byte

Anche in questo caso si calcola il peso percentuale per un pacchetto IPv4 di 1500 Byte: (20 / (1500 ) × 100 ≈ 1.33%

Tenuto conto anche della frammentazione: totale stimato intorno al 5%

Protocollo TCP:

* Porta sorgente: 16 bit
* Porta destinazione: 16 bit
* Numero sequenza: 32 bit
* Numero acknowledge: 32 bit
* Lunghezza header: 4 bit
* Flag: 6 bit
* Dimensione finestra: 16 bit
* Checksum: 16 bit
* Urgent pointer: 16 bit

Per cui la dimensione totale dell’header TCP è di 20 byte

Calcolo del peso percentuale per un segmento TCP di 1480 Byte:

(20 / (480 ) × 100 ≈ 1.35%

Tenendo conto anche dei meccanismi di controllo il totale stimato è intorno al 3%

Pertanto il peso percentuale dell’overhead complessivo dei protocolli è pari a

Overhead Ethernet + IP +TCP ≈ 2,5%+5%+3%≈ 10%,

incide sul throughput effettivo per un totale del 10% circa; quindi il contenuto informativo che determina il throughput netto è del 90%:

Throughput netto= 2,5 Gbit/s × 0,9 = 2,25 Gbit/s

In alternativa si sarebbe potuto calcolare direttamente il peso percentuale che deriva dalla somma di tutti gli overhead dei protocolli (che è pari a 38+20+20=78 Byte):

78x100/1538=5 %, portandolo poi al 10% per tenere conto degli altri fattori citati

Dopo aver calcolato il throughput effettivo, si può calcolare il tempo di trasferimento di un file da 10 GB (80 Gbit):

t = 80 Gbit /2,25Gbit/s = 35,5 s

3) I metodi per la correzione d’errore per ritrasmissione e controllo di flusso possono essere implementate con le seguenti modalità:

- stop and wait

- sliding windows

Nel caso di protocollo operante con metodologia Stop and Wait, ogni pacchetto deve essere confermato prima dell'invio del successivo: la sorgente emette una PDU alla volta e attende la ricezione della conferma della sua corretta ricezione (ACK) prima di trasmettere la PDU successiva. Se la PDU non è un frame essa viene incapsulata dai protocolli sottostanti e viene trasferita nel campo payload di un frame.

Il metodo sliding windows viene utilizzato in particolare dal protocollo di trasporto TCP: la sorgente può emettere in maniera continuativa un certo numero di PDU tra un ACK e il successivo. Il numero di PDU dipende dalla dimensione della finestra di trasmissione espressa in byte (windows size): l’host destinazione comunica la dimensione della propria finestra di ricezione all’host sorgente, che in questo modo conosce quanti byte (PDU) può trasmettere senza aspettare l’ACK di corretta ricezione. E’ quindi necessario configurare la finestra di ricezione (Receive Window Size RXWIN), tenendo conto del prodotto Banda-ritardo BDP (bandwith-delay-product). ll BDP, in maniera più semplice, rappresenta la quantità massima di dati che possono essere "in volo" (non ancora confermati) lungo il percorso; è possibile calcolarlo con la seguente formula:

BDP = Throughput × RTT = 2,5\*10^9 x 3,3\*10^-3= 8,262x10^6 bit cioè circa 1MB

Pertanto, per ottimizzare la trasmissione TCP, la dimensione minima della finestra di ricezione dovrebbe essere di circa 1 MB.

Il protocollo Sliding Window potrebbe teoricamente saturare la capacità effettiva della rete calcolata nel punto precedente.

**C Sicurezza e backup**

1) Quando si desiderano comunicazioni sicure su reti IP è necessario ricorrere a meccanismi di crittografia e di verifica dell’integrità dei dati. L’uso di una VPN è fortemente indicato in quanto comporta i seguenti vantaggi:

* Protegge i dati durante la trasmissione ed è in grado di crittografare il traffico internet
* Nasconde l'indirizzo IP reale
* Rende difficile l'intercettazione dei dati
* Si possono connettere gli utenti a reti aziendali da remoto
* Si possono utilizzare servizi non disponibili nel proprio paese
* Protegge la privacy durante la navigazione e rende difficile il tracciamento online mascherando la propria identità e posizione
* Protegge i dati quando si usa WiFi pubblico

Nella configurazione di una VPN è possibile scegliere una suite di protocolli IPsec (internet protocol security) che si può aggiungere alla protezione garantita dal protocollo di tunneling. Tale suite garantisce l’autenticazione, la confidenzialità, l’integrità e la protezione da riproduzioni; si dice anche che IPsec garantisce la comunicazione sicura end to end

Due host che utilizzano IPsec instaurano una sessione denominata Security Association; IPsec utilizza una serie di sottoprotocolli come IKE (internet key exchange), ESP (Encapsulating Security Payload) e AH (autentication header). IPsec è completamente trasparente alle applicazioni che lo usano dato che agisce sotto IP; l’unica accortezza sta nell’avviare il processo di autenticazione IKE .

Per l'accesso agli apparati di rete, per l’implementazione della sicurezza, si può utilizzare il protocollo RADIUS (remote authentication dial in user service)*.* Il RADIUS è un protocollo molto utilizzato perché è reso disponibile da molti costruttori sui propri NAS (Network Access Server).

Tale protocollo è basato su account con un centro di distribuzione delle chiavi: garantisce la crittografia AAA. Nello schema RADIUS agiscono tre entità: l’host richiedente, il client radius ed il server RADIUS

2)In termini generali un servizio può essere definito come la capacità di scambiare informazioni fornita da un service provider ad un utente. Dal punto di vista dell’utente la QoS è il risultato delle prestazioni di un servizio che determina il grado di soddisfazione dell’utente stesso: tali prestazioni devono essere osservabili e misurabili.

Per garantire la priorità al traffico VoIP e video in una rete, come richiesto, è necessario configurare la Quality of Service (QoS) in modo da gestire i pacchetti in base alla loro importanza e sensibilità alla latenza. Ecco una possibile configurazione di base della QoS:

Classificazione del traffico dati:

Si può utilizzare il Differentiated Services Code Point (DSCP) per assegnare priorità ai diversi tipi di traffico; nel dettaglio:

VoIP: Classe EF (Expedited Forwarding): massima priorità

Video Conferenza: Classe AF (Assured Forwarding): alta priorità

Dati critici (es. applicazioni aziendali) : AF con priorità inferiore

Dati generici (es. navigazione web, email): BE (Best Effort - 0)

Gestione delle code di priorità:

Si può utilizzare il Weighted Fair Queuing (WFQ) o Low Latency Queuing (LLQ) per garantire bassa latenza a VoIP e video, nel dettaglio:

VoIP: coda prioritaria (Priority Queue - PQ). V~~i~~ene gestita con LLQ cioè sempre servita prima degli altri traffici; in questo modo il tasso di banda garantito è ≥ 30% della banda totale

Video: coda alta priorità. Viene servita dopo la coda VoIP, con banda riservata; il tasso di banda garantito è ≥ 25% della banda totale

Dati critici aziendali: coda medio priorità. Viene servita dopo le code VoIP e Video. La banda riservata è ≥ 20% della banda totale

Dati generici: coda Best Effort. Tale traffico non ha nessuna garanzia di banda, quindi la banda può essere messa a disposizione solo se ci sono risorse disponibili

Meccanismi di gestione della congestione:

Si possono implementare i meccanismi di **Traffic Policing e Traffic Shaping; il funzionamento è il seguente:**

**Traffic Policing**: se un flusso VoIP supera la banda assegnata, i pacchetti eccedenti vengono scartati.

**Traffic Shaping**: per il traffico video, si regola il flusso per evitare congestioni improvvise

**D. Gestione della connessione wireless:**

1) Edificio A

Tenuto conto che l’edificio A ha una destinazione d’uso prevalentemente “uffici”, l’infrastruttura di rete wireless che si potrebbe utilizzare prevederebbe Access Point Wi-Fi IEEE 802.11n , 802.11ax – Wi-Fi 6 con dual radio (doppio ricetrasmettitore); ciò consentirebbe la possibilità sia di collegamento con la banda standard dei 2,4 GHz (standard 802.11n) sia nella banda dei 5 GHz (standard 802.11n e 802.11ax). Per quanto concerne l’alimentazione degli AP si può utilizzare la tecnologia PoE conforme agli standard 802.3af e 802.3at (PoE+), mediante l’uso di appositi switch dotati di porte PoE, in modo da raggiungere tutti gli AP mantenendo il limite dei 100 m complessivi (permanent link); i cavi UTP cat 6 garantirebbero le prestazioni richieste.

2) Edifico B

Tenuto conto che l’edificio B ha una destinazione d’uso prevalentemente “espositivo (museo)”, si può ipotizzare l’utilizzo della tecnologia Li-Fi (Light Fidelity) per la connessione dei dispositivi mobili. La tecnologia (che si presenta con lo standard internazionale IEEE 802.15) funziona grazie alla commutazione on-off della frequenza luminosa di un apposito corpo illuminante: questa sequenza di luce emessa non è visibile all’occhio umano ma consente la trasmissione del dato, che in fase di ricezione verrà trattato come una sequenza di bit (0 - 1) abilitando quindi una comunicazione tra dispositivi. Tanto maggiore è la velocità di commutazione, tanto migliore sarà la velocità di trasmissione dell’informazione. Si può pensare di dotare, ad esempio i tablet o palmari noleggiabili come guide interattive per la visita del museo, con la tecnologia LiFi: in questo modo si stabilisce una connessione bidirezionale tra i corpi illuminanti (LED o Infrarosso) e chiavette USB (da installare sui dispositivi mobili) in grado di ricevere e trasmettere dati.

I principali vantaggi offerti dalla tecnologia del Li-Fi sono:

* buona velocità. fino a 220 Mbit/s in download e 160 Mbit/s in upload;
* larghezza della banda elevata: lo spettro della luce è 10’000 volte più ampio dello spettro radio, offrendo quindi una connessione più stabile e libera da problemi di saturazione della banda e interferenze;
* maggiore sicurezza: la luce può essere delimitata in uno spazio, evitando quindi il rischio di attacchi hackers dall’esterno. Inoltre il Li-Fi offre servizi avanzati di localizzazione a autenticazione dei dispositivi;
* immunità alle interferenze: il Li-Fi non emette onde radio, evitando pertanto a priori problemi di interferenza reciproca con altri dispositivi.
* sostenibilità (elettro-smog free): si annullano tutti i rischi legati all’aumento dell’inquinamento elettromagnetico.

Per tali motivi l’utilizzo del Li-Fi risulterebbe idoneo all’interno di tale edificio.