

Ricerca di Sistema elettrico



Studio di materiali e processi per la deposizione di elettrodi semitrasparenti per OLED (LA3.7)

Aprano S., Maglione M.G., Tassini P., Ferrante L.

STUDIO DI MATERIALI E PROCESSI PER LA DEPOSIZIONE DI ELETTRODI SEMITRASPARENTI PER OLED
(LA3.7)

Aprano S., Maglione M.G., Tassini P., Ferrante L. (ENEA)

Con il contributo di: Fasolino T., Imperato A., Miscioscia R., Pandolfi G., Sdringola P. (ENEA)

Marzo 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

Linea di attività: 3.7

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Paolo Sdringola, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 1

Mese inizio effettivo: 1

Mese fine previsto: 12

Mese fine effettivo: 15

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	5
4	PRODOTTI SVILUPPATI	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI.....	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	8
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	23
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	24
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	25

1 Risultati attesi

Lista dei risultati attesi come da capitolato vigente:

- Si punterà ad ottenere almeno un materiale (o una composizione di materiali) che sia impiegabile come catodo per gli OLED, cioè le cui proprietà elettroniche permettano l'iniezione di elettroni nei dispositivi, e che presenti sufficienti conducibilità e trasparenza per venire impiegato in OLED trasparenti. Sulla base dei risultati pregressi ottenuti dal gruppo di lavoro nel settore, saranno selezionati alcuni materiali su cui concentrare le attività.
- Saranno quindi messi a punti i parametri dello specifico processo di deposizione di ciascun materiale selezionato (ad es., nel caso di evaporazione termica: il tasso di deposizione e la pressione base) per ottenere strati di spessori uniformi sui substrati impiegati (principalmente di vetro) e sulle aree di lavoro previste per i dispositivi. Si predisporranno le maschere, da evaporazione e fotolitografiche, per la sperimentazione del patterning dei vari materiali che saranno provati.
- Gli strati dei diversi materiali depositati saranno infine caratterizzati per le proprietà elettriche (conducibilità) e la trasparenza, per identificare il materiale ed il processo che dà gli strati con il miglior compromesso tra queste proprietà, e quindi potenzialmente impiegabile negli OLED trasparenti.

2 Risultati ottenuti

Lista dei risultati ottenuti:

- Identificazione di materiali per la realizzazione di elettrodi.
- Processo di deposizione e patterning dei materiali.
- Studio della proprietà dei materiali depositati.

3 Prodotti attesi

Lista dei prodotti attesi come da capitolato vigente:

- Rapporto tecnico relativo a:
 - Identificazione di materiali per la realizzazione di elettrodi.
 - Processo di deposizione e patterning dei materiali.
 - Studio della proprietà dei materiali depositati.

4 Prodotti sviluppati

Lista dei prodotti sviluppati:

- Report tecnico, in aderenza agli obiettivi dichiarati; allegato al report tecnico, comprendente una descrizione dettagliata delle attività condotte e dei risultati raggiunti (*inserito come allegato aggiuntivo*).

Prodotti sviluppati non previsti nel capitolato:

- Per la verifica sperimentale delle proprietà dei materiali studiati, sono stati realizzati alcuni primi dispositivi di test, OLED semitrasparenti, risultati funzionanti. Le prestazioni di questi saranno sviluppate nel corso della LA3.8.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si evidenziano scostamenti su attività e risultati.

In riferimento alla parte economica, lo scostamento sui costi di personale (A) è dovuto al passaggio di livello, da medio ad alto, di uno dei ricercatori coinvolti nella LA, per complessive 25 ore. Lo scostamento della voce di spesa per strumenti e attrezzature (B) si lega alla durata della LA3.7, la cui termine è stato spostato dal mese 12 al mese 15, con conseguente variazione dei giorni di utilizzo, da 365 a 455. Il suddetto scostamento sarà compensato per le stesse voci di spesa alla chiusura della LA3.8, la cui durata coprirà conseguentemente i mesi 16-36 (e non più 13-36).

6 Sintesi delle attività svolte

Per individuare i materiali adatti alla realizzazione di un contatto per OLED trasparente sono stati realizzati e caratterizzati: film sottili di argento e film conduttivi di ossido di indio e stagno (ITO: indium tin oxide).

Per confrontare i vari materiali e le diverse condizioni di deposizione, sono stati utilizzati due parametri:

- la sheet resistance, per avere un indice della bontà delle proprietà conduttive dei film,
- la trasmittanza ottica, per avere un indice della loro trasparenza.

Una volta caratterizzati i film, è stato ottimizzato il processo di deposizione di ciascuno di essi, ed il loro patterning, ai fini di poterli utilizzare in dispositivi OLED come catodo conduttivo trasparente.

Sono stati realizzati alcuni primi dispositivi OLED semitrasparenti di test, risultati funzionanti.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Caratterizzazione di film sottili di Ag

Tra le varie tecniche per ottenere un elettrodo semitrasparente vi è quello di realizzare film di metallo sottile. Tra i vari metalli che possono essere utilizzati come catodo per un OLED (Argento, Alluminio, Oro...ecc) l'argento è il miglior candidato in termini di conducibilità e trasparenza quando depositato come film sottile. Infatti, esso ha una trasparenza media del 40% nel range del visibile quando viene depositato in film di spessore sottile dell'ordine dei 20 nm.

Come noto, la realizzazione di film di argento puro incontra alcune difficoltà: l'argento evaporato termicamente cresce formando isole per i primi nanometri per cui, per avere film planari e conduttivi, è necessario depositare spessori maggiori di 10 nm. Film di Ag con spessore maggiore di 50 nm presentano invece un'elevata riflettività e quindi una bassa trasparenza, essi non sono pertanto fruibili come elettrodi trasparenti.

L'attività di caratterizzazione di contatti metallici in argento ha permesso di studiare le proprietà elettriche ed ottiche di strati di argento di differente spessore e di stabilire il legame tra alcuni parametri di processo come, ad esempio, la pressione iniziale o il rate di deposizione e le proprietà del film ottenuto.

Sono stati esaminati 5 differenti spessori di Ag compresi tra 25nm e 5nm, al fine di valutare le seguenti grandezze fisiche: resistività di contatto e trasmittanza ottica. Tali grandezze rappresentano i parametri chiave che consentono di definire le prestazioni elettriche ed ottiche di un contatto metallico.

I campioni da studiare sono stati fabbricati depositando l'argento su substrati di vetro di dimensione 2cm x 5cm mediante evaporazione termica in ultra alto vuoto, mantenendo un rate di deposizione compreso tra 1 Å/s e 2 Å/s in modo da ottenere un layer con morfologia uniforme.

In Tabella 1 sono riportati i parametri di processo per ogni tipologia di campione realizzato.

Campione	Spessore nominale [nm]	Pressione iniziale [mbar]	Pressione di deposizione [mbar]	Rate [Å/s]	Potenza %
Ag1	5	5.2 E-8	4.7E-7 - 5.5E-7	0.97 - 1.00	12.0 - 12.3
Ag2	10	5.6 E-8	1.5E-7 - 1.9E-7	0.95 - 1.04	11.6 - 11.8
Ag3	15	7.4 E-8	2.3E-7 - 3.0E-7	0.95 - 0.98	11.0 - 11.2
Ag4	20	5.6 E-8	3.8e-7 - 3.9e-7	0.90 - 1.02	10.6 - 10.7
Ag5	25	3.3 E-8	4.2e-7 - 5.1e-7	0.87 - 1.40	13.0 - 13.4

Tabella 1: Parametri di processo dei campioni realizzati.

7.1.1 Misure di spessore

Su ciascun campione sono state effettuate 9 misure: 3 nella zona centrale, 3 sul lato destro e 3 sul lato sinistro. Lo spessore di materiale depositato è risultato essere uniforme per tutti i campioni esaminati. In Tabella 2 sono riportati i valori medi di spessore misurati.

Campione	Spessore nominale [nm]	Spessore misurato [nm]
Ag1	5	5
Ag2	10	12
Ag3	15	16
Ag4	20	20
Ag5	25	25

Tabella 2: Spessori misurati per i campioni realizzati.

7.1.2 Misure di resistenza

La sheet resistance è la grandezza che caratterizza le proprietà di conduzione elettrica di film sottili, in particolare nel caso di campioni con spessore molto minore della lunghezza e della larghezza. I valori medi di sheet resistance sono riportati in Tabella 3. Utilizzando poi i valori di spessori misurati è stata calcolata la resistività di ciascun contatto metallico.

Campione	Sheet Resistance [Ω/sq]	Resistività [$\Omega\cdot\text{cm}$]
Ag1	--	--
Ag2	58	6.96E-5
Ag3	46	7.36E-5
Ag4	6.8	1.40E-5
Ag5	4.4	1.15E-5

Tabella 3: Valori di Sheet resistance e resistività dei contatti realizzati. Per il campione Ag1 non è stato possibile misurare la sheet resistance

7.1.3 Misure di trasmittanza

La trasmittanza ottica rappresenta la capacità di un materiale di lasciarsi attraversare dalla luce incidente ed è una grandezza di fondamentale importanza per la caratterizzazione di film trasparenti. In Tabella 4 sono riportati i valori medi e massimi ottenuti nel range di misura da 300 nm a 800 nm e la trasmittanza ottica alla lunghezza d'onda di 550 nm.

Campione	Trasmittanza % massima	Trasmittanza % $\lambda = 550$ nm
Ag1	99.8 ($\lambda = 799$ nm)	96.2
Ag2	94.3 ($\lambda = 800$ nm)	58.9
Ag3	62.8 ($\lambda = 800$ nm)	43.2
Ag4	52.5 ($\lambda = 400$ nm)	44.1
Ag5	48.1 ($\lambda = 400$ nm)	40.3

Tabella 4: Valori di trasmittanza misurati per i campioni realizzati.

Il confronto tra gli spettri di trasmittanza ottenuti per le diverse tipologie di campioni, realizzati nel range di lunghezze d'onda esaminato è riportato in Figura 1.

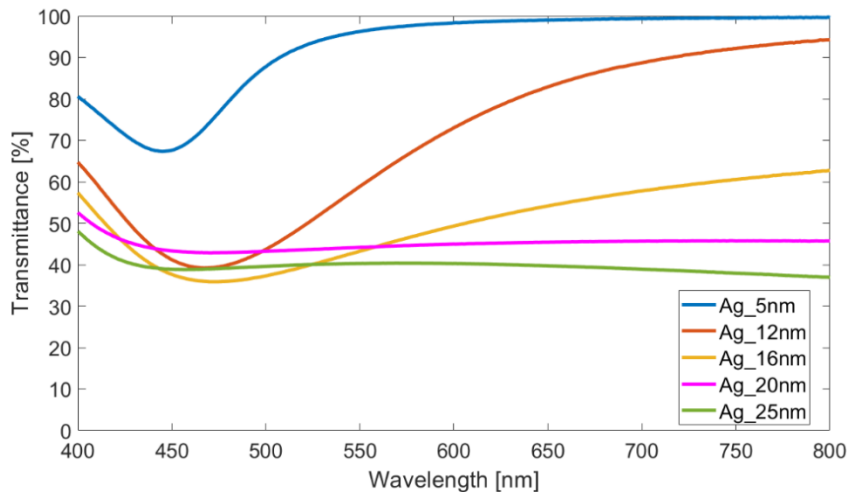


Figura 1: Misure di trasmittanza ottenute per i campioni esaminati.

7.2 Realizzazione e caratterizzazione di OLED semitrasparenti rossi con area emissiva di 1cm²

L'obiettivo dell'attività è stato quello di testare le prestazioni elettriche ed ottiche ottenibili realizzando il contatto superiore del dispositivo attraverso un sottile layer di argento (Ag).

Dati i risultati della precedente attività di caratterizzazione, si è scelto di testare due differenti spessori di Ag: 20nm e 12 nm, (chiamati Ag2 e Ag4 nei precedenti paragrafi).

Sono stati, pertanto, realizzati 12 dispositivi OLED, 6 con un contatto di catodo di spessore 20nm di Ag (denominati opachi, con una trasmittanza di 44.1% @550nm) e i restanti 6 con contatto di 12nm (denominati semitrasparenti, con una trasmittanza di 58.9% @550nm).

Ciascun dispositivo è stato realizzato su un substrato di vetro di dimensioni 25mm x 40mm, con un layer di ITO (usato per la funzione di anodo) con un geometria di una forma tale che, intersecata con la geometria dei layer organici e del catodo, crei un dispositivo con un'area emissiva rettangolare di 1cm². Da qui in avanti tale geometria viene denominata "Aladin".

In figura 2 è riportata la struttura di ciascun dispositivo ed è specificato lo spessore di ciascun layer.

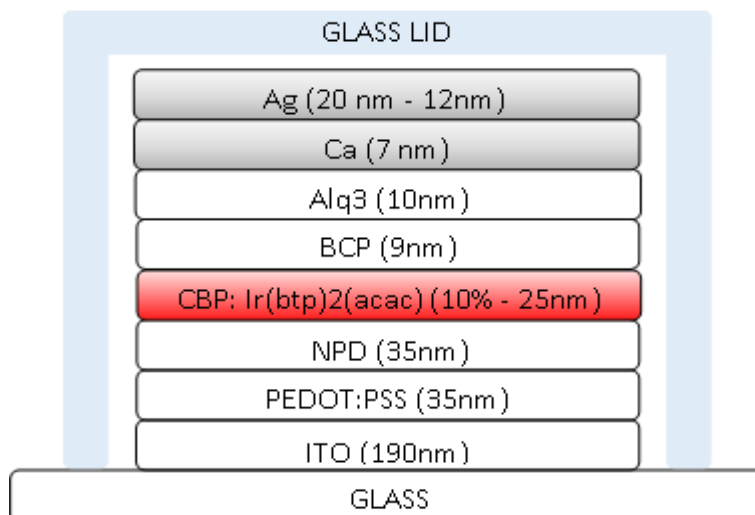


Figura 2: Struttura dei dispositivi.

In figura 3 sono riportate le foto dei dispositivi spenti e accesi con una tensione di alimentazione di circa 3V. I dispositivi denominati opachi hanno mostrato una tensione di accensione di 2.5V, mentre quelli semitrasparenti di circa 0.5V maggiore.

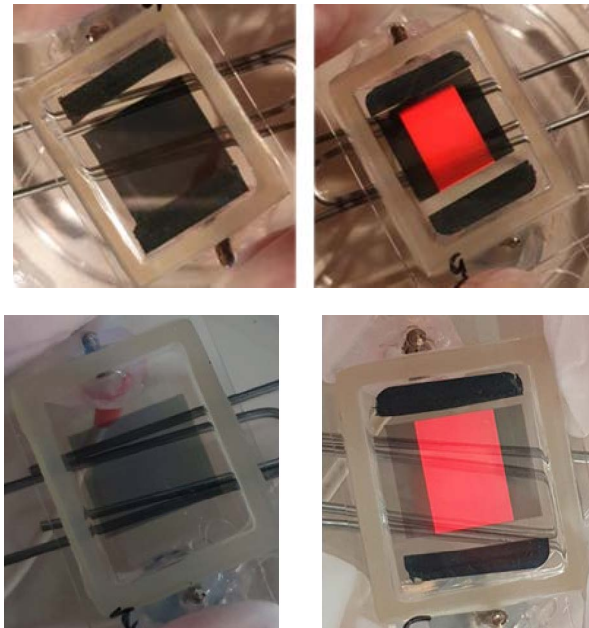


Figura 3: Foto dei dispositivi OLED opachi (in alto) e semitrasparenti (in basso).

7.2.1 Caratterizzazione elettrica dei dispositivi

Gli OLED sono stati caratterizzati elettricamente in modo da valutarne le caratteristiche di funzionamento. In figura 4 sono riportate le caratteristiche IV ottenute per uno dei dispositivi opachi, mentre in figura 5 quelle ottenute per i dispositivi denominati semitrasparenti.

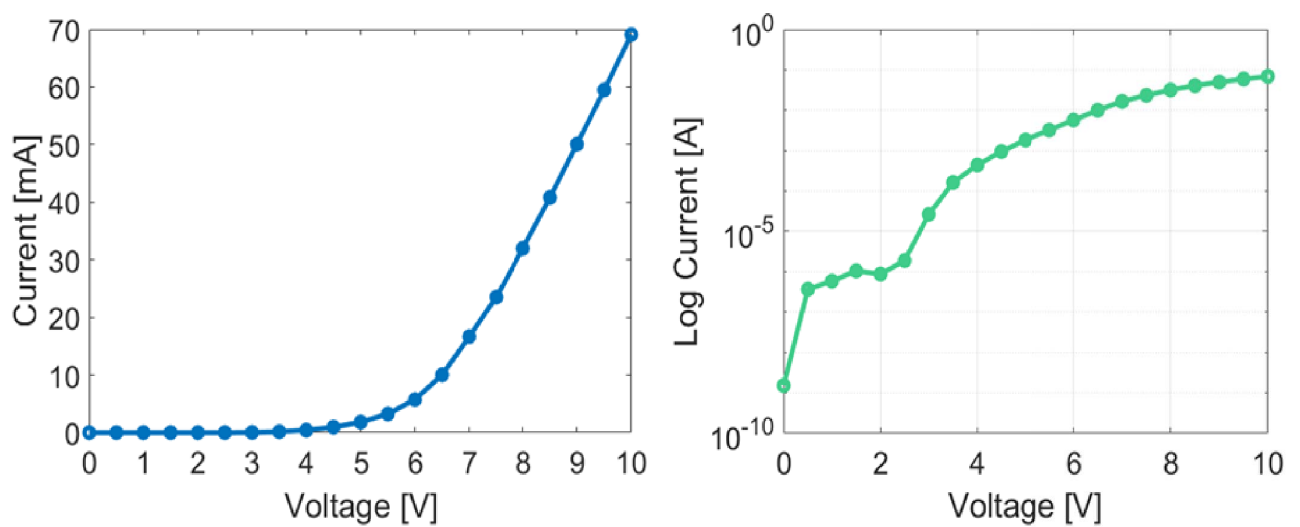


Figura 4: Caratteristiche IV - OLED opaco.

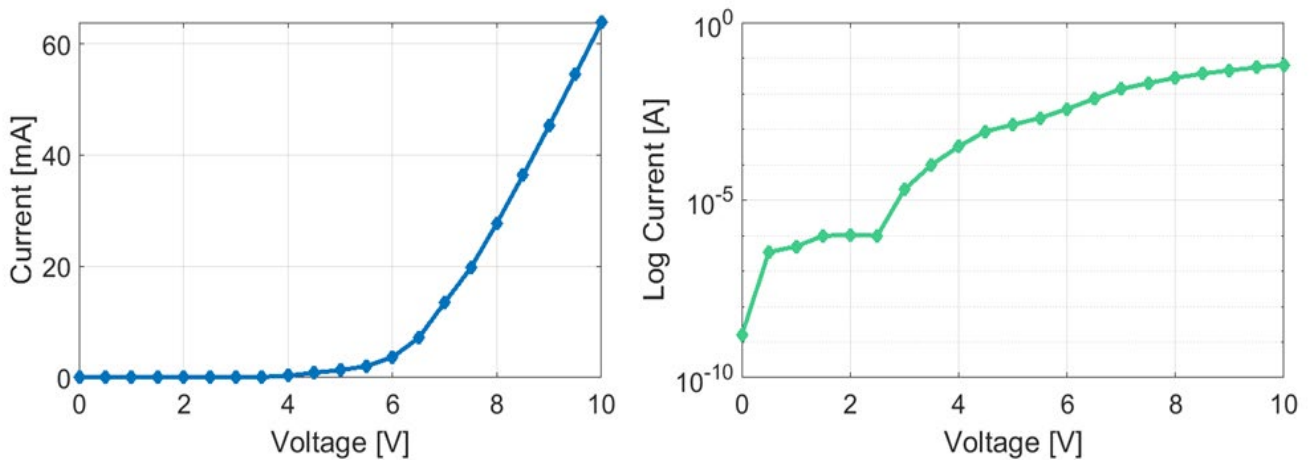


Figura 5: Caratteristiche IV - OLED semitrasparente.

La potenza dissipata è risultata essere di circa 25mW per entrambe le tipologie di dispositivi quando la tensione di alimentazione era pari a 5V.

7.2.2 Caratterizzazione ottica dei dispositivi

7.2.2.1 Misure di trasmittanza

E' stata effettuata una scansione nel range di lunghezze d'onda 400 nm – 800 nm con step di 1nm. Assumendo come riferimento la trasmittanza del vetro e della struttura costituita da vetro e coperchio è stato possibile ricavare la trasmittanza ottica del dispositivo in presenza e in assenza del coperchio di vetro di incapsulamento.

In figura 6 sono riportate le curve di trasmittanza ottenute per il dispositivo opaco.

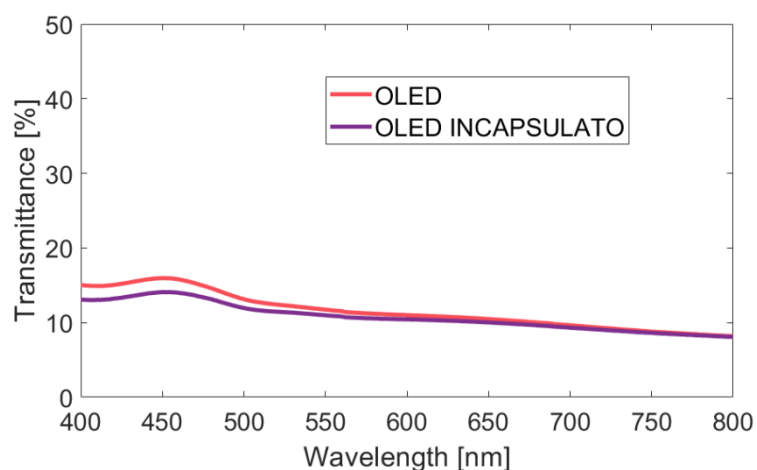


Figura 6: Trasmittanza ottica del dispositivo opaco.

Il massimo valore di trasmittanza è stato misurato alla lunghezza d'onda di 451nm ed è risultato essere pari a 11.7%. La trasmittanza ottica del dispositivo alla lunghezza d'onda di 550 nm è risultata essere di circa il 16%.

In figura 7 sono invece riportate le curve di trasmittanza ottenute per il dispositivo semitrasparente.

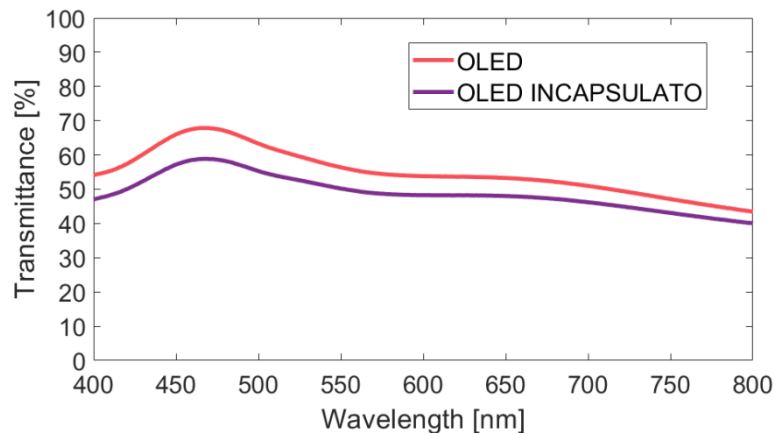


Figura 7: Trasmittanza del dispositivo OLED semitrasparente.

Il massimo valore di trasmittanza dell’OLED semitrasparente è stato misurato alla lunghezza d’onda di 468nm ed è risultato essere pari al 67.8% per il dispositivo non incapsulato e del 58.8% per il dispositivo in presenza del vetro di incapsulamento. La trasmittanza alla lunghezza d’onda centrale dello spettro del visibile (550nm) è risultata essere pari al 56.4% e al 50.2%, rispettivamente in assenza e in presenza del vetro incapsulante.

La realizzazione di un dispositivo con un contatto di catodo in Ag di 12nm ha permesso di ottenere un dispositivo con una trasparenza ottica circa il 40% maggiore rispetto ad un dispositivo con catodo di Ag di 20nm.

7.2.2.2 Misure di radianza

La misura della radianza spettrale consente di ricavare lo spettro di emissione della sorgente luminosa, la sua luminanza, le sue coordinate cromatiche e la temperatura di colore.

Le misure di radianza, effettuate attraverso l’utilizzo dello spettroradiometro e di una CCD imaging camera, hanno permesso di valutare le prestazioni ottiche degli OLED.

In Tabella 5 per ciascun dispositivo opaco è stata analizzata solamente l’emissione luminosa dal contatto di Anodo mentre per i dispositivi semitrasparenti è stata esaminata sia la luce emessa dall’anodo (Bottom), che quella emessa luminosa dal catodo (Top).

Tabella 5: Grandezze ottiche medie misurate per le due tipologie di dispositivi realizzati

	OLED opaco		OLED semitrasparente			
	10mA – 5.9V	5mA – 5.3V	10mA – 5.7V		5mA – 4.5V	
			Bottom	Top	Bottom	Top
Luminance [cd/m²]	2.797E+02	1.439E+02	1.709E+02	3.159E+01	8.704E+01	1.173E+01
Luminous Intensity [cd]	2.797E-02	1.439E-02	1.7090E-02	3.1590E-03	8.7040E-03	1.1730E-03
Luminous Flux [lm]	8.787E-02	4.521E-02	5.3690E-02	9.9243E-03	2.7344E-02	3.6851E-03

Power Efficiency [lm/W]	1.49	1.70	0.94	0.18	1.11	0.16
Current Efficiency [cd/A]	2.79	2.87	1.71	0.31	1.74	0.23

In figura 8 è riportato lo spettro di emissione normalizzato, valutato alla corrente di 10mA.

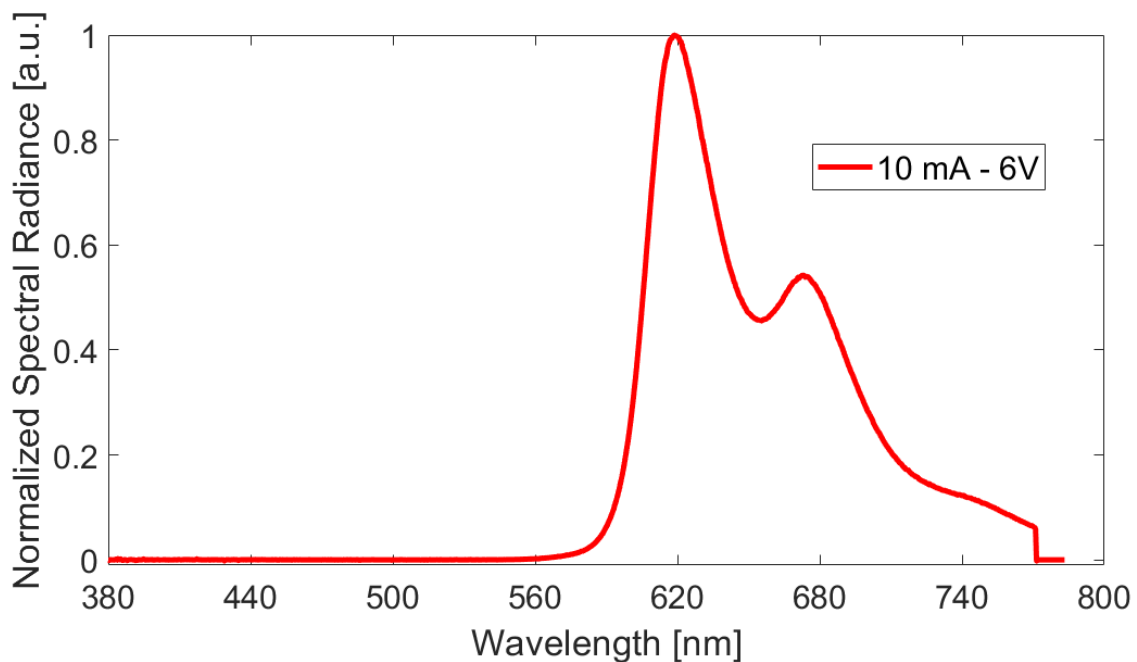


Figura 8: Spettro normalizzato dei dispositivi OLED.

La lunghezza d'onda di picco è risultata essere di 619nm.

7.3 Realizzazione e caratterizzazione di OLED semitrasparenti con area emissiva di 20cm²

Sebbene l'OLED da 1cm² con un catodo di spessore di 12nm (Oled semitrasparente) esibisce una trasmittanza migliore di quello con un film di argento da 20nm, si è scelto di utilizzare quest'ultimo spessore per realizzare un OLED di area maggiore.

L'alta resistività del film di 12nm avrebbe creato una caduta del potenziale applicato lungo il contatto di catodo con una conseguente perdita di uniformità della luce in un OLED di area maggiore a 1cm².

I dispositivi sono stati realizzati a partire da substrati di vetro con ITO di dimensioni 100mm X 100mm.

L'ITO è stato "patternato" mediante processo fotolitografico per ottenere un contatto inferiore di anodo che consente di avere un'area emissiva a geometria rettangolare di 50mm X 40mm.

In figura Figura 3 la struttura dell'OLED realizzato.

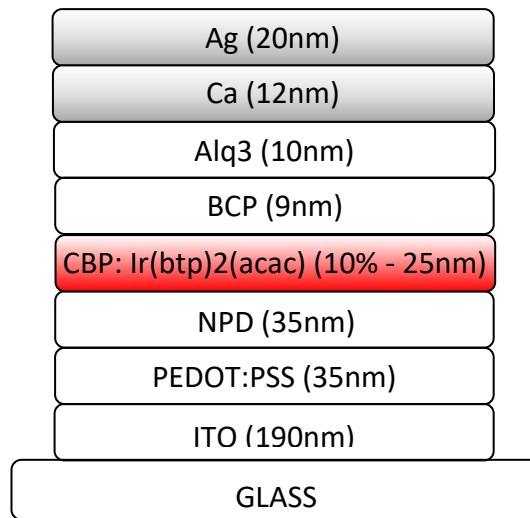


Figura 9: Struttura dei dispositivi.

In Figura 10 sono riportate le foto di uno dei dispositivi quando è spento e quando è alimentato ad una tensione di 5V.

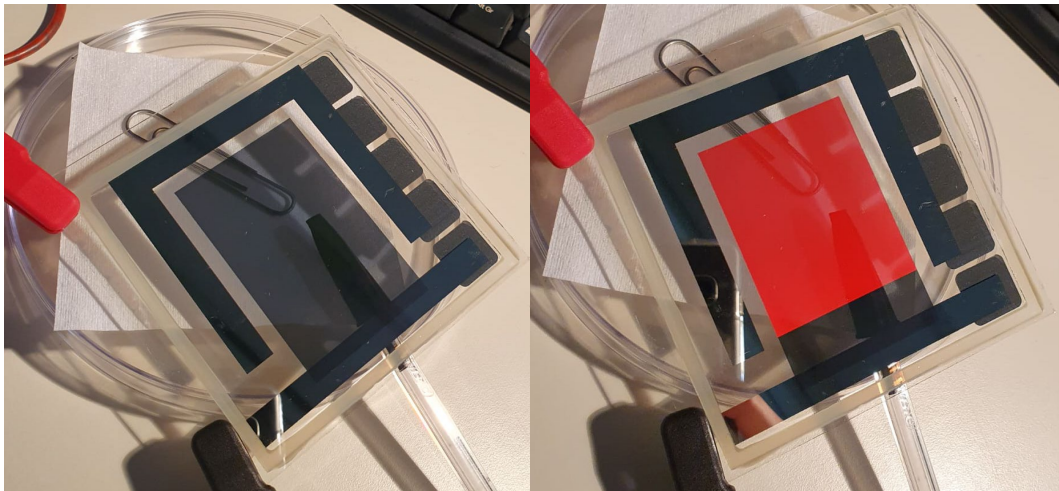


Figura 10: Foto di un dispositivo OLED spento (a sinistra) e acceso (a destra).

I dispositivi hanno mostrato una tensione di accensione di circa 4V con una corrente di 20mA. La potenza dissipata a 5V era di 0.175W.

7.3.1 Caratterizzazione ottica dei dispositivi

E' stata effettuata una scansione nel range di lunghezze d'onda 300 nm – 800 nm con step di 1nm. In Figura 11 sono riportate le curve ottenute.

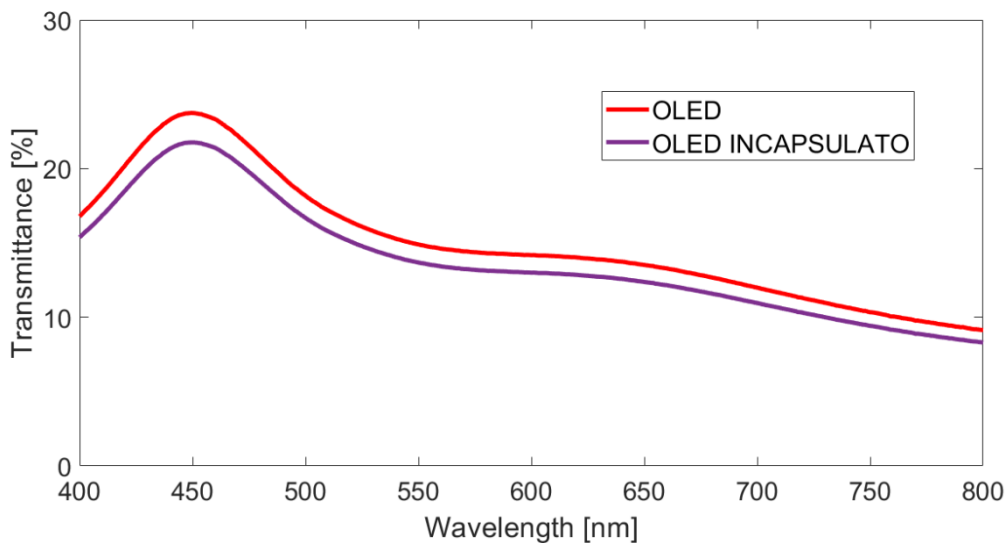


Figura 11: Trasmittanza del dispositivo OLED

7.4 Caratterizzazione ITO

I materiali conduttivi trasparenti più comunemente impiegati nei dispositivi optoelettronici sono i TCO (Transparent Conductive Oxides), ossidi di metallo drogati che consentono di ottenere film con elevata trasparenza (trasmittanza > 80%) e conducibilità. Tra tutti, il materiale maggiormente usato è l'ITO (Indium Tin Oxide) che presenta eccellenti proprietà di conducibilità e trasparenza nel range del visibile. L'ITO è generalmente depositato su substrato trasparente di vetro come elettrodo inferiore e presenta una sheet resistance di circa 10 Ω /sq e una trasmittanza nel visibile di circa il 90%.

A differenza dei materiali fin ora visti, l'ITO viene depositato per "Sputtering". Tale processo prevede "l'accensione" di un plasma in una camera in vuoto, tale plasma crea particelle ionizzate, che accelerate da un campo elettrico e magnetico bombardano un target con il materiale che si vuole depositare (in questo caso ITO). Le molecole che si liberano al seguito del bombardamento si vanno a depositare sul substrato.

Nel caso della deposizione dell'ITO, oltre ai parametri che regolano la resa del processo di sputtering (pressione in camera, potenza, tipo di sorgente ecc...) si è studiato gli effetti della temperatura del substrato durante la deposizione dell'ITO. Infatti, tale parametro ha una notevole influenza sulle proprietà elettriche ed ottiche del film ottenuto.

Il materiale è stato depositato su substrati di vetro di dimensione 30mm x 40mm mediante Sputtering RF. Sono state testate tre differenti condizioni di processo (riportate in Tabella 6): il campione ITO_1 è stato ottenuto riscaldando il substrato a 223°C (tramite lampade ad infrarosso) durante tutto il processo di deposizione; il campione ITO_2 è stato ottenuto lasciando il substrato alla temperatura "ambiente" della camera; il campione ITO_3 è stato ottenuto depositando l'ITO con il substrato a temperatura ambiente e poi, lasciando il campione in vuoto nella camera di processo, riscaldando il substrato per 4 ore fino a 250°C con lampade ad infrarosso.

Ciascun campione è stato poi caratterizzato con misure di resistenza (sheet resistance) e di trasmittanza ottica.

Lo spessore di materiale effettivamente depositato sui substrati è stato misurato utilizzando il profilometro.

Tabella 6: Condizioni di processo per ciascuna tipologia di campione e spessore medio misurato

Campioni	Condizioni di Deposizione	Spessore Misurato [nm]
ITO_1	Sputtering a 223°C	140
ITO_2	Sputtering a 21°C	140
ITO_3	Sputtering a 21°C + annealing a 250 °C per 4h	150



Figura 13: Foto di alcuni campioni di ITO realizzati

7.4.1 Misure di resistenza

I valori medi di sheet resistance ottenuti per ciascuna tipologia di campione sono riportati in Tabella 7. Utilizzando poi i valori di spessori misurati è stata calcolata la resistività di ciascun contatto.

Tabella 7

Campioni	Spessore Misurato [nm]	Sheet Resistance [Ω /sq]	Resistività [$\Omega \cdot \text{cm}$]
ITO_1	140	18.6	2.60E-4
ITO_2	140	40.8	5.71E-4
ITO_3	150	30.2	4.53E-4

7.4.2 Misure di trasmittanza

È stata effettuata una scansione nel range di lunghezze d'onda 300 nm – 800 nm con step di 1nm. È stata assunta come riferimento la trasmittanza del vetro. In Tabella 8 sono riportati i valori massimi ottenuti nel range di misura considerato e la trasmittanza ottica alla lunghezza d'onda di 550 nm per ciascuna tipologia di campione realizzata.

Tabella 8

Campioni	Trasmittanza massima [%]	Trasmittanza $\lambda = 550$ nm [%]
ITO_1	92.8 ($\lambda = 572$ nm)	92.4
ITO_2	95.5 ($\lambda = 582$ nm)	94.5
ITO_3	99.3 ($\lambda = 555$ nm)	99.3

In Figura 14 è infine riportato il confronto tra le curve di trasmittanza ottenute per i diversi campioni realizzati nel range di lunghezze d'onda esaminato

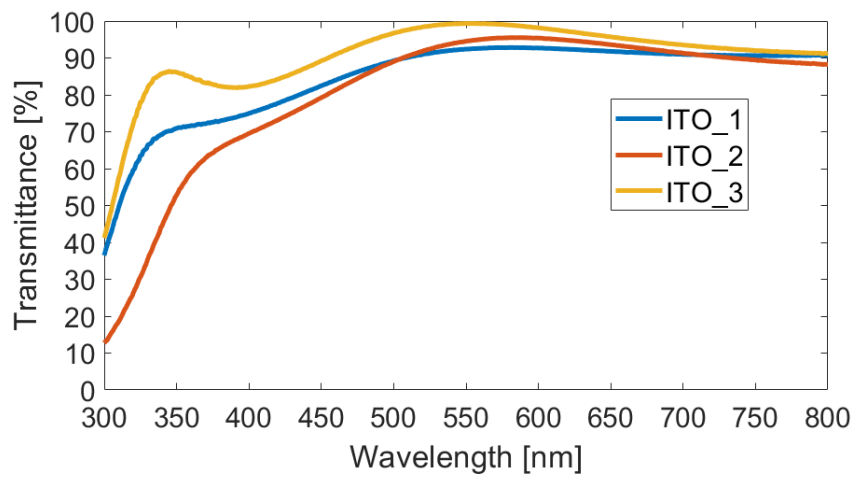


Figura 14: Curve di Trasmittanza dei campioni di ITO.

7.5 Realizzazione e caratterizzazione di OLED trasparente

Dal confronto della Figura 14 con la Figura 1 è evidente che l'ITO, usato anche come catodo, è il miglior candidato per ottenere un OLED trasparente.

Purtroppo, riscaldare un substrato su cui sono stati depositati già i layer organici come fatto per le condizioni di processo dei substrati ITO_1 e ITO_3 del capitolo precedente è dannoso per i layer organici stessi. Di fatto, dei 3 presentati, l'unico processo utilizzabile per ottenere una deposizione di ITO su un OLED è il processo utilizzato per il substrato ITO_2, ovvero deposizione tramite sputtering con substrato a temperatura ambiente. Gli altri 2 processi sono stati effettuati per avere un confronto sulle performance massime, (in termini di trasmittanza e conducibilità) ottenibili attualmente con la nostra strumentazione, al quale puntare per ulteriori prove future.

Sono stati fabbricati 6 dispositivi OLED con geometria *Aladin*, area emissiva rettangolare di 1 cm².

Ciascun dispositivo sfrutta l'emissione dell'Alq3 nelle lunghezze d'onda del verde ed emette luce da entrambi i contatti realizzati in ITO.

L'Alq3 ha performance elettro-ottiche molto differenti dall'Ir(btp)2(acac) usato per realizzare gli OLED rossi dei paragrafi precedenti, quindi un confronto tra i due sarebbe improprio. La scelta di utilizzare un materiale differente è stata dettata sia dalla semplicità della struttura sia dalla differente lunghezza d'onda di emissione di tale materiale. In questo caso sarebbe stato sempre possibile individuare gli OLED una volta realizzati.

La struttura di ciascun OLED e gli spessori dei singoli layer sono riportati in Figura 15.

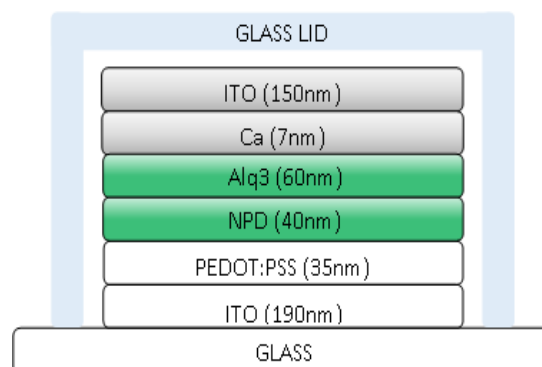


Figura 15: Struttura dell'OLED trasparente.

In Figura 16 è riportata una foto di uno dei dispositivi realizzati.

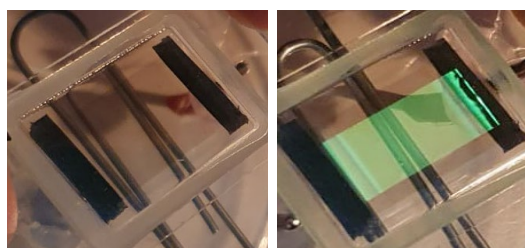


Figura 16: Foto di un OLED trasparente spento (a sinistra) e acceso (a destra).

7.5.1 Caratterizzazione elettrica dei dispositivi

I dispositivi realizzati sono stati caratterizzati elettricamente in modo da valutarne le caratteristiche di funzionamento.

In Figura 17 sono riportate le caratteristiche IV (corrente-tensione) ottenute per uno dei dispositivi realizzati.

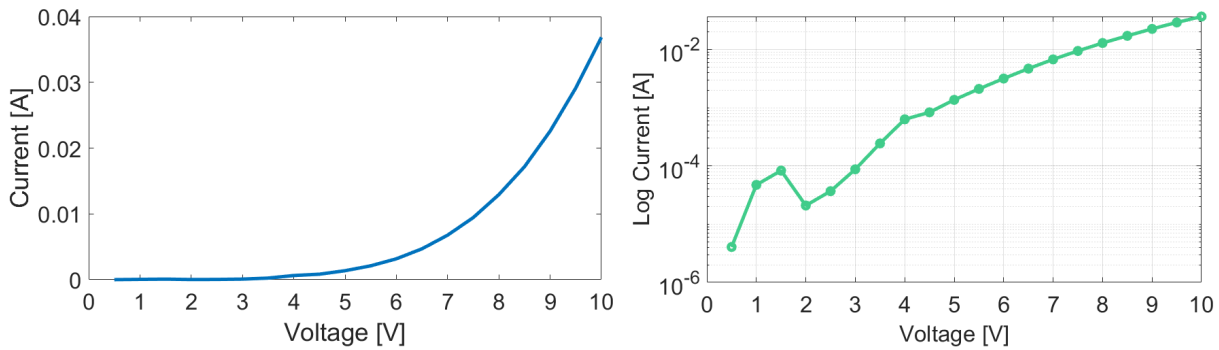


Figura 17: Caratteristiche IV dei dispositivi OLED in scala lineare (a sinistra) e logaritmica (a destra).

Tutti i dispositivi sono risultati essere funzionanti con una tensione di accensione elettrica mediamente pari a 4V e una corrente di 0.63 mA.

7.5.2 Caratterizzazione ottica dei dispositivi

7.5.2.1 Misure di radianza

Per ciascun dispositivo è stata esaminata sia l'emissione luminosa dall'anodo (Bottom), sia l'emissione luminosa dal catodo (Top)

In Figura 18 è riportato lo spettro di emissione (normalizzato al suo picco massimo) dell'OLED con emissione dell'Alq3.

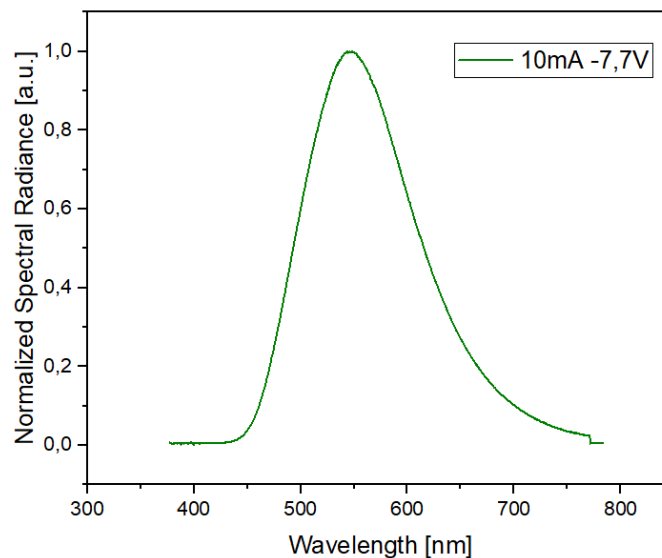


Figura 18: Spettro normalizzato dei dispositivi OLED.

Lunghezza d'onda centrale dello spettro di emissione è pari a 545nm.

Tabella 9: Grandezze ottiche medie misurate la tipologia di dispositivo realizzato

	10mA – 7.7V		5mA – 6.8V	
	Bottom	Top	Bottom	Top
Luninance [cd/m²]	121.2	80.45	54.7	37.0
Luminous Intensity [cd]	1.2120E-02	8.0450E-03	5.4690E-03	3.7000E-03
Luminous Flux [lm]	3.8076E-02	2.5274E-02	1.7181E-02	1.1624E-02
Power Efficiency [lm/W]	0.50	0.33	0.49	0.34
Current Efficiency [cd/A]	1.21	0.80	1.09	0.74

7.5.2.2 Misure di trasmittanza (dispositivo spento)

Successivamente è stata misurata la trasmittanza ottica dei dispositivi realizzati. E' stata effettuata una scansione nel range di lunghezze d'onda 300 nm – 800 nm con step di 1nm.

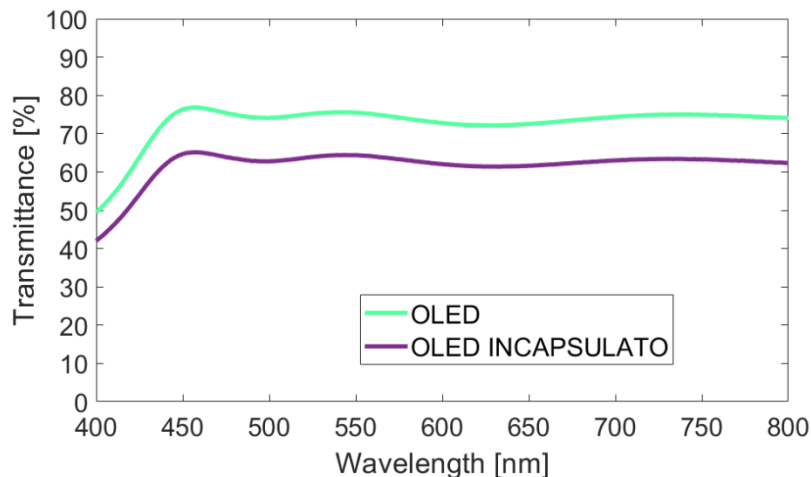


Figura 19: Curve di trasmittanza ottenute per l'OLED trasparente.

La trasmittanza è risultata essere quasi costante nell'intero range di lunghezze d'onda del visibile (400nm – 700nm). Il suo massimo valore alla lunghezza d'onda di 457nm è pari al 71.5% e 61.5% rispettivamente per l'OLED senza vetro di incapsulamento e per l'OLED incapsulato. Il vetro di incapsulamento determina quindi una riduzione della trasmittanza del dispositivo di circa il 10%.

La trasmittanza misurata a 550nm invece è risultata essere pari al 64.4% considerando l'OLED incapsulato mentre pari a 70.4% considerando il dispositivo senza l'effetto del vetro incapsulante.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno della LA3.7 il capitolato di progetto non prevede consulenze, né sono state utilizzate nel corso dello svolgimento della LA.

9 Pubblicazioni scientifiche

Le attività e i risultati della LA3.7 non sono stati oggetto di pubblicazione. Si sottolinea che i principali risultati legati allo sviluppo di dispositivi OLED semitrasparenti sono attesi al completamento della successiva LA3.8, per la quale sono previste specifiche attività di disseminazione, incluse le pubblicazioni.

10 Eventi di disseminazione

Nel corso della linea sono state realizzate attività di disseminazione riguardo i dispositivi sperimentali OLED in sviluppo, attraverso la partecipazione ai seguenti eventi:

- Innovation Village 2022 (Napoli, 27-28/10/2022);
- Futuro Remoto 2022 (Napoli, 25-27/11/2022).

Come indicato nel capitolato, per i suddetti non è inclusa alcuna imputazione di costo nella rendicontazione economica.

Altre attività di disseminazione sono previste nella successiva LA3.8 sulla base dei risultati attesi per lo sviluppo di OLED semitrasparenti, anche con l'eventuale coinvolgimento del Co-beneficiario UNINA_DSC (LA3.9).