



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale in

**Lingue, economie e istituzioni dell'Asia e
dell'Africa Mediterranea**

Tesi di Laurea

Evoluzione della tecnologia dei sistemi
catalitici nel settore automobilistico
dagli anni '50 ad oggi, con repertorio
terminografico italiano-cinese

Relatore

Ch.mo Prof. Franco Gatti

Correlatore

Ch.ma Prof.ssa Daniela Rossi

Laureando

Lorenzo Bestoso
Matricola 851248

Anno Accademico

2020 / 2021

前言

本文主要涉及到减少交通工具产生的有害废气。催化机器将对健康有害的物质（例如颗粒物、气态碳氢化合物、氮氧化物、氨、一氧化碳和二氧化硫）转化为危害较小的物质，例如二氧化碳、水和氮气。

论文第一部分专门讨论环境问题并描述控制地球大气的复杂动态。在过去地质纪，冷热阶段交替出现，但自 19 世纪下半叶以来，人为排放的“温室气体”扰乱了原有自然型排放的平衡。1859 年宾夕法尼亚州开始石油钻探，“黑金”的使用开始普遍，直到 21 世纪石油成为全球变暖的主要原因。在这种情况下，事实证明能够阻止持续的全球变暖的唯一方法是采取涉及所有形式的污染排放的多方面方法：2019 冠状病毒病全球疫情中，2020 年初的封禁的中国就代表一个突出的例子，说明如何仅仅减少人类活动向大气中排放的少量有害气体还不足以重拾中国向往的蓝天。这是 2018 年中国国务院宣布的打赢蓝天保卫战的主因。

打赢蓝天保卫战只是中国政府发起的环保计划之一。中国在 1990 年代开始参加国际气候会议，在中国正当 20 世纪 90 年代现代空气污染的主要来源，即汽车行业，开始普及。然而，在毛泽东大跃进和邓小平改革开放政策时期的第一次污染事件发生。本世纪初，中国也开始采用追溯到 90 年代初的欧洲汽车环保法，在全国范围内逐步导致汽车催化器普及，直至颁布比西方立法更严格的法规。六 B 批复将于 2023 年 7 月生效。

论文第二部分分析过去 20 年中国和世界汽车以及催化系统市场的增长：中国从私人交通工具密度最低的国家之一已经变成了最大的汽车制造商，尤其是新能源汽车的制造商。解释了汽车和排气系统行业之间的具体相关性，论文继续分析催化系统组件的市场，主要是陶瓷载体、抗腐蚀金属催化剂和分子筛。还描述中国市场上该行业的本地公司与全球公司之间的关系：由于多年的经验，外国公司在该行业中占据主导地位。本地制造公司只占少数、不成功集成更高级别的生产周期而不得不涵盖封装催化器的无利可图阶段。

论文中部涉及到汽车领域催化系统的演变，从 1950 年代的开端到 1970 年代在美国的应用，以及随几十年到欧洲和世界其他地区的扩散。随后，分析了导致开发高度复杂催化系统的细致研究。第一种用于汽油车的催化器称为“氧化型转化器”、旨在单独分解一氧化碳（CO），例如 1956 年由 Eugène Houdry 设计

的转化器。几年后，这位法国化学家获得了第一个能够氧化 CO 和碳氢化合物 (HC) 的二元催化器。然后，随着美国环境保护局 (EPA) 颁布第一个反污染法规，行业的巨头庄信万丰 (Johnson Matthey) 和 Engelhard 生产了第一种现代催化转化器，称为“三元催化器” (TWC)。TWC 同时提供 CO 和 HC 的氧化以及氮氧化物 (NO_x) 的还原。在那一刻之前，NO_x 一直受到一些权宜之计的控制方式，例如废气再循环 (EGR)。70年代 EGR 被 Lambda 探头取代，这是一种精密仪器、允许 TWC 催化器在具有化学计量的空燃比的条件下运行，催生了“闭环控制”排气系统。

论文中部的后半继续介绍为柴油车设计的催化系统，尤其是 DOC 催化器和 LNT 捕集器、SCR 和 ASC 催化器、DPF 和 GPF 过滤器，以及更现代、最近在市场上推出的技术，例如用于氢气转化的“质子交换膜” (PEM)，或其他仍在研究中的技术，例如直接甲醇燃料电池 (DMFC)。简而言之，DOC 代表柴油氧化催化器、有助于微粒过滤器 (DPF) 的再生并去除可能抑制选择性还原催化器 (SCR) 运行的物质，而 SCR 催化器为处理 NO_x 的转化器。SCR 的运行原理是基于尿素的特殊液体 (柴油机尾气处理液) 转化为氨水，从而用氨水减少 NO_x。SCR 位于可消除多余的氨水的氨分解催化器 (ASC) 的前面。另一方面，柴油颗粒过滤器 (DPF) 用于过滤固体颗粒物，还可以包含活性组分 (cDPF) 以便在较低温度下进行再生。随着生产大量 PM 的汽油 GDI 发动机的普及，发明了汽油机颗粒物捕集器 (GPF)。如果该捕集器配备“三元”催化功能，则称为四元催化器 (FWC)。JM 研究人员设计的 CRT 过滤器源自 DPF 过滤器和 DOC 转化器的结合，能够在不需要燃油喷射的情况下自我再生。作为 DOC 的替代方案，可以使用稀燃 NO_x 捕集器 (LNT): 本质上是一种掺杂有碱性材料的 TWC 催化器，可在低温和贫油条件下吸附 NO_x。

论文第三部分描述催化转化器的组件：外壳、衬垫、载体、涂层和活性组分。铁素体或奥氏体不锈钢外壳与膨胀衬垫一起为催化器提供必要的稳定性和隔热性。包起载体的衬垫主要由矿棉或铝和氧化硅的多晶纤维组成。矿棉是通过熔融纺丝获得的，而多晶纤维是通过溶胶-凝胶法获得的。衬垫也可能含有蛭石，一种膨胀矿物。载体可以是颗粒状的或蜂窝状的、陶瓷的或金属的。它是催化器的中心，也是涂层和活性组分的基底。目前最常用的载体是堇青石蜂窝载体。在于催化器的种类，载体可以具有直通式或壁流式结构。陶瓷的载体可以通过

挤压制造，而波纹是制造金属载体常用的方法。从涂层方面来看，涂层是用作辅助的基底，在其多孔结构上浸渍催化活性组分。将涂层粘附到载体上的技术为胶体涂覆、溶胶-凝胶法和浆涂法，而用于涂层的材料为 γ -氧化铝 (γ - Al_2O_3)，通常与具有储氧能力 (OSC) 的铈在一起使用，还为沸石和钙钛矿。沸石属于“分子筛”，因为具有很高的过滤能力。另一方面，多亏钙钛矿催化抗腐蚀金属不会在高温下烧结。构成活性组分的抗腐蚀金属为铂族金属：铂、钯和铑。铂和钯对 CO 和 HC 的氧化具有选择性，而铑对 NO_x 的还原具有选择性。使抗腐蚀金属粘附到涂层上的最主要方法为浸渍法。

最后一部分由涉及多方面车用催化系统领域的详细意-中专用术语表组成。一个意-中和中-意概括词汇表完成论文。总之，论文旨在强调当前跟所有人有关系的环保型催化，并帮助任何想从面向东方的角度探讨该主题的人。

Indice

前言	3
INDICE	6
PREFAZIONE.....	9
SEZIONE I	14
CAPITOLO 1	
L' AMBIENTE.....	15
1.1 L'inquinamento atmosferico	17
1.2 Cina: la questione ambientale.....	21
1.2.1 <i>Gli standard sulle emissioni inquinanti in Cina</i>	25
CAPITOLO 2	
LA CINA E I MERCATI.....	27
2.1 Il mercato dell'auto.....	27
2.2 Il mercato dei convertitori catalitici.....	29
2.3 Aziende produttrici di convertitori catalitici.....	32
CAPITOLO 3	
SISTEMI CATALITICI.....	35
3.1 Le origini della catalisi.....	37
3.2 I motori a benzina.....	39
3.2.1 <i>Il primo convertitore catalitico</i>	39
3.2.2 <i>Il primo convertitore di Houdry</i>	41
3.2.3 <i>Il primo convertitore a due vie</i>	43
3.2.4 <i>Verso la catalisi moderna</i>	45
3.2.5 <i>I convertitori ossidanti Engelhard</i>	47
3.2.6 <i>Il convertitore a tre vie</i>	49
3.2.7 <i>I convertitori al palladio</i>	53
3.3 I motori Diesel.....	60
3.3.1 <i>Il DOC: convertitore ossidante per i motori a diesel</i>	60
3.3.2 <i>Il filtro antiparticolato: dal diesel alla benzina</i>	64
3.3.3 <i>I dispositivi per la rimozione degli ossidi di azoto</i>	68

3.4 Le nuove tecnologie.....	72
3.5 Reazioni chimiche.....	76
3.5.1 <i>Motori a benzina</i>	76
3.5.2 <i>Motori a diesel</i>	78

CAPITOLO 4

MATERIALI E COMPONENTI.....81

4.1 L'involucro.....	82
4.2 Il materassino.....	84
4.3 Il substrato.....	87
4.4 Il washcoat.....	92
4.4.1 <i>L'allumina</i>	94
4.4.2 <i>Le zeoliti</i>	97
4.4.3 <i>Le perovskiti</i>	100
4.5 La componente attiva.....	102

SEZIONE II.....105

Schede terminografiche	106
Schede bibliografiche.....	256
Glossario italiano-cinese.....	292
Glossario cinese-italiano.....	298
Bibliografia	304
Sitografia.....	314
Illustrazioni.....	318

PREFAZIONE

Il presente elaborato si propone di affrontare il tema dell'abbattimento dei gas di scarico nocivi, prodotti dai mezzi di trasporto tramite la combustione di sostanze distillate del petrolio, in primis benzina e gasolio, grazie all'impiego di apparecchi catalitici finalizzati alla conversione, tramite il connubio di materiali preziosi, ceramiche, ossidi metallici ed altri ancora, di sostanze deleterie per la salute quali il particolato, gli idrocarburi gassosi, gli ossidi di azoto, l'ammoniaca, il monossido di carbonio ed il diossido di zolfo, trasformandole in sostanze meno dannose quali l'anidride carbonica, l'acqua, e l'azoto.

La prima parte è dedicata alla questione ambientale ed al delineamento delle complesse dinamiche che regolano l'atmosfera terrestre. Se è possibile affermare che nel corso delle ere geologiche si sono alternate fasi calde e fasi fredde, è anche possibile affermare che le emissioni antropiche dei cosiddetti "gas serra", causa portante dell'innalzamento delle temperature climatiche, hanno contribuito a perturbare l'equilibrio delle preesistenti emissioni di stampo naturale a partire dalla seconda metà del XIX secolo. Le prime trivellazioni del combustibile fossile più ambito al giorno d'oggi iniziarono infatti nella Pennsylvania del 1859, quando l'adozione dell'"oro nero" iniziò a dilagare a macchia d'olio, fino a diventare la causa principale del riscaldamento climatico nel XXI secolo. In quest'istanza viene dimostrato come l'unico *modus* per poter conseguire la reversibilità del processo climatico in corso sia un approccio di tipo poliedrico che racchiuda al suo interno ogni forma di emissione inquinante: la Cina del primo lockdown indetto a causa della pandemia mondiale di COVID-19 a inizio 2020 è un esempio eclatante di come la mera riduzione di una sola porzione delle entità gassose nocive emesse nell'atmosfera dalle attività umane non sia sufficiente a riconquistare il "cielo azzurro" (*Lantian*, 藍天) anelato dalla società cinese, *casus belli* della Battaglia per la Salvaguardia Ambientale (*Baowei zhan*, 保卫战) dichiarata dal Consiglio di Stato cinese nel 2018 contro l'inquinamento atmosferico.

La Blue Sky Battle non è che uno dei progetti che avvolge la sfera ambientale avviati dal governo cinese. La Cina iniziò a partecipare, per lo meno formalmente, alle conferenze internazionali sul clima negli anni '90, proprio quando la fonte principale dell'inquinamento atmosferico moderno si stava iniziando a diffondere nel Paese di Mezzo, nonostante le prime fonti inquinanti risalgano alle politiche del Grande Balzo in Avanti di Mao Zedong e di Riforma e Apertura di Deng Xiaoping: trattavasi del settore

dell'*automotive*. All'inizio del secolo in corso la Cina iniziò inoltre ad adottare le legislazioni ambientali automobilistiche europee risalenti ai primi anni '90, che portarono progressivamente alla diffusione a livello nazionale dei dispositivi catalitici oggetto della presente tesi, fino ad arrivare alla promulgazione di normative più stringenti dei corrispettivi occidentali, quali l'omologazione Cina 6b (*Guo liu B*, 国六B) che entrerà in vigore nel luglio del 2023.

La seconda parte dell'elaborato analizza la crescita del mercato cinese e mondiale dell'*automotive* e di conseguenza degli apparati catalitici degli ultimi 20 anni, soffermandosi su come la Cina sia passata dall'essere uno degli stati con la minor densità di mezzi di trasporto privati ad essere il maggior produttore di veicoli al mondo, in particolare di veicoli NEV ad energia pulita. Viene spiegata la specifica correlazione, di proporzionalità variabile, tra i settori dell'auto e dei sistemi di scarico, addentrandosi nei sotto-mercati dei costituenti che vanno a comporre i sistemi catalitici, in primis i monoliti ceramici, il cui mercato ammonta a 300 milioni di litri, i catalizzatori di metalli nobili, estratti principalmente in Russia e Sudafrica ma come sottoprodotto dell'estrazione di altri metalli anche in Cina, ed i setacci molecolari, materiali questi ultimi di recente introduzione molto utilizzati nei dispositivi dedicati ai veicoli a diesel. Viene inoltre descritto il rapporto tra le aziende locali e mondiali del settore presenti sul mercato cinese: mentre le aziende estere ricoprono un ruolo dominante, frutto di una pluriennale esperienza nel settore, le aziende locali produttrici rappresentano una minoranza, e la maggior parte di esse non ha successo nell'integrazione dei livelli superiori del ciclo di produzione, vedendosi relegata alla fase poco redditizia dell'assemblaggio.

La parte centrale dell'elaborato sfoca dalla sfera cinese per affrontare l'evoluzione dei meccanismi catalitici in ambito automobilistico dagli albori, negli anni '50, alla loro applicazione negli Stati Uniti negli anni '70, ed alla loro diffusione in Europa e nel resto del mondo nei decenni successivi, con un occhio di riguardo per la meticolosa ricerca, passata e presente, che ha portato e porterà all'elaborazione di sistemi catalitici sofisticatissimi che possano soddisfare le normative vigenti in costante aggiornamento. I primi catalizzatori per i veicoli a benzina, detti "catalizzatori ossidanti", come il convertitore del 1956 progettato da Eugène Houdry, furono concepiti per abbattere il solo monossido di carbonio (CO). Qualche anno dopo il chimico francese brevettò il primo convertitore a due vie, in grado di ossidare il CO e gli idrocarburi (HC), mentre in seguito ad un farraginoso processo che vide l'emanazione negli USA delle prime normative antinquinanti dell'EPA, i colossi del settore Johnson Matthey ed Engelhard misero a

punto i primi convertitori catalitici moderni, detti “a tre vie” (TWC), che provvedevano al contempo all’ossidazione di CO ed HC ed alla riduzione degli ossidi di azoto (NO_x), derivati da tecnologie in uso nei sistemi di evacuazione degli impianti di acido nitrico. Fino a quel momento gli NO_x erano stati limitati con espedienti quali il ricircolo dei gas esausti (EGR), che furono sostituiti o accostati da uno strumento di precisione che permetteva il funzionamento dei convertitori TWC in condizioni di aria-combustibile a rapporto stechiometrico, dando vita ad un sistema di scarico “a circuito chiuso”: la sonda lambda.

La parte centrale dell’elaborato prosegue con il resoconto dei sistemi catalitici pensati per i veicoli a diesel, in particolare il catalizzatore DOC e la trappola LNT, i convertitori SCR ed ASC, i filtri DPF e GPF, fino ad arrivare a tecnologie più moderne, di recente introdotte sul mercato, quali le “membrane a scambio protonico” (PEM) per la conversione dell’idrogeno, e ad altre tecnologie ancora oggetto di ricerca, quali le celle a combustibile a metanolo diretto (DMFC) per l’estrazione dell’idrogeno dal metanolo, che potrebbero persino annullare le emissioni nocive. Ogni dispositivo viene analizzato minuziosamente, spiegando il rapporto di simbiosi in cui coesiste con gli altri dispositivi nel sottoscoeca dell’autoveicolo. In breve, il DOC rappresenta il convertitore ossidante per il diesel, che contribuisce alla rigenerazione del filtro antiparticolato (DPF) e rimuove le sostanze che potrebbero inibire il funzionamento del convertitore per la riduzione selettiva catalitica (SCR), ovvero il convertitore adibito allo smaltimento degli NO_x . L’SCR funziona convertendo un liquido apposito (DEF) a base di urea in ammoniaca, che provvede alla riduzione degli NO_x , ed è ubicato prima dell’ASC, che abbatte l’ammoniaca in eccesso, anch’essa dannosa. Il filtro DPF è invece adibito al filtraggio del *soot* carbonioso, e può anche contenere una componente catalitica (cDPF) affinché possa essere rigenerato a temperature più basse. In seguito alla diffusione dei motori GDI a benzina, che producono quantità elevate di PM, è stato necessario dotare anche i veicoli a benzina di filtro antiparticolato (GPF). Tale filtro, se munito di funzionalità catalitica TWC, prende il nome di catalizzatore a quattro vie (FWC). Dal connubio tra il filtro DPF ed il convertitore DOC nasce invece la trappola CRT progettata dai ricercatori della JM, in grado di autorigenerarsi senza bisogno di iniezioni di carburante. In alternativa al DOC può essere impiegata una trappola LNT, sostanzialmente un convertitore TWC drogato con materiale alcalino che adsorbe gli NO_x (DeNO_x) alle basse temperature ed in condizioni *lean*.

Nella terza parte, dopo un breve excursus sulle nuove tecnologie e sul dettaglio delle reazioni chimiche di ossidoriduzione che avvengono nei convertitori, la concentrazione si sposta sulla descrizione delle loro componenti, nel variegato alternarsi di pro e contro che rendono i materiali analizzati più o meno confacenti alle condizioni operative estreme ed eterogenee tipiche dei convertitori: l'involucro, il materassino, il substrato, il *washcoat* e la componente attiva. L'involucro di acciaio inox ferritico o austenitico, insieme al materassino, fornisce al dispositivo la stabilità e l'isolamento termico necessari. Il materassino, che avvolge il substrato, è composto principalmente da lane minerali ottenute tramite filatura per fusione (*melt spinning*) o da fibre policristalline di ossidi di alluminio e silicio ottenute tramite processo sol-gel, ma può anche contenere vermiculite, un minerale intumescente. Il substrato, a pellet o monolitico, ceramico o metallico, è invece il fulcro fisico del convertitore catalitico, e funge da supporto primario per il *washcoat* e per la fase attiva. Il substrato più diffuso oggi è il monolite a nido d'ape in cordierite, che in base al dispositivo può avere struttura *wall-flow* o *flow-through*. I substrati ceramici si possono ottenere per estrusione, mentre la corrugazione è il metodo più usato nella produzione dei substrati metallici. La componente successiva, il *washcoat*, o *coating*, è il rivestimento del substrato che funge da supporto secondario, la cui struttura porosa viene impregnata con la componente attiva catalitica. Le tecniche più diffuse per far aderire il *washcoat* al substrato sono il rivestimento con *coating* colloidale, il metodo del sol-gel ed il rivestimento con *slurry*, mentre i materiali più usati per il *washcoat* sono la γ -allumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), spesso abbinata al cerio con funzione OSC, le zeoliti, definite "setacci molecolari" per l'elevata capacità di filtrazione, e le perovskiti, grazie alla cui struttura chimica i metalli nobili catalizzanti non si sinterizzano alle alte temperature. I metalli nobili, per l'appunto, compongono la fase attiva, cioè il catalizzatore vero e proprio, e nello specifico sono platino, palladio e rodio, anche detti metalli del gruppo del platino (PGM). Il platino ed il palladio sono altamente selettivi nei confronti dell'ossidazione di CO ed HC, mentre il rodio è altamente selettivo per la riduzione degli NO_x . Il metodo principale per fare aderire i metalli nobili al *washcoat* è l'impregnazione, che si differenzia in impregnazione a umido, adsorbimento elettrostatico e deposizione-precipitazione.

Infine, la seconda sezione è composta da un repertorio terminografico italiano-cinese relativo alla sfera dei sistemi catalitici automobilistici, scandagliata nelle sue sfaccettature più disparate. Conclude il lavoro un glossario italiano-cinese e cinese-italiano. L'elaborato si propone di evidenziare l'importanza della catalisi in un ambito

che tocca tutti noi molto da vicino, quello ambientale, e di essere da sostegno a chiunque si voglia avvicinare all'argomento in una prospettiva rivolta a Oriente.

SEZIONE I

CAPITOLO 1

L'AMBIENTE

L'atmosfera è l'involucro gassoso che ricopre il nostro pianeta. Da essa dipende la sopravvivenza degli esseri viventi, che popolano la litosfera, la biosfera e l'idrosfera. L'atmosfera è divisa in vari strati, dalla troposfera all'esosfera, ma gli strati che coinvolgono direttamente gli esseri viventi sono quelli inferiori, cioè la troposfera, che ospita i fenomeni meteorologici, contiene il 75% dell'aria della terra ed è adiacente alla crosta terrestre, e la stratosfera, meglio nota per la presenza dello strato di ozono. L'ozono protegge il pianeta dalle pericolose radiazioni ultraviolette provenienti dal sole e, di conseguenza, senza l'ozonofera la vita sulla terra non sarebbe possibile. L'energia che giunge alla terra dal sole viene in parte riverberata nello spazio dalle nuvole e dagli aerosol¹ presenti nell'atmosfera, in parte assorbita dalla superficie terrestre ed in parte riflessa dalla crosta terrestre ma trattenuta all'interno dell'atmosfera dal vapore acqueo e dall'anidride carbonica in essa presenti, che contribuiscono dunque al suo riscaldamento, cioè al cosiddetto "effetto serra". La relazione tra la quantità di energia che giunge sulla superficie terrestre e quella che viene invece respinta nello spazio è detta "albedo" e per la terra è pari a 35, cioè su 100 unità di energia che giungono sul pianeta 35 unità vengono riflesse dall'atmosfera. Senza l'atmosfera questo valore sarebbe molto più alto e la temperatura media del pianeta sarebbe di -18 °C (Lanza 2000).

Negli ultimi duecento anni, a partire grosso modo dalla rivoluzione industriale, il delicato equilibrio dell'atmosfera terrestre è stato perturbato dall'attività umana, che ha causato fenomeni di inquinamento atmosferico e di innalzamento delle temperature terrestri: ad oggi la temperatura è aumentata di circa 1.1 °C rispetto all'epoca preindustriale², quando l'uso dei combustibili fossili iniziò a diffondersi. Per esempio, la maggior fonte dell'inquinamento odierno, cioè il petrolio, iniziò ad essere estratta nel 1859 in Pennsylvania, in seguito all'aumento del prezzo dell'olio di balena impiegato

¹ Sistema colloidale costituito da particelle liquide o solide, con dimensioni di solito comprese fra 15 e 50 µm, disperse in un gas. Si forma per dispersione meccanica di un liquido, per es. sotto l'azione di un gas propellente o per gorgogliamento di aria o altri gas in contenitori di liquidi. Gli a. giocano un ruolo importante in meteorologia, nei processi di formazione del suolo da polveri trasportate dal vento e nei problemi di purificazione dell'aria da contaminanti. (*aerosol*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/aerosol/>, 25-05-2021)

² Nazioni Unite, (2019) *Cop25: la Conferenza ONU sul cambiamento climatico, 5 cose da sapere*, in "unric.org", <https://unric.org/it/cop25-la-conferenza-onu-sul-cambiamento-climatico-5-cose-da-sapere/>, 05-05-2021.

nelle lampade a combustibile, quando la Pennsylvania Rock Oil Company, con l'aiuto del ferroviere Edwin L. Drake, scoprì un pozzo di petrolio nella cittadina di Titusville dopo vari mesi di trivellazioni (Olah et al. 2018).

Nonostante l'atmosfera sia stata delineata da fasi fredde e fasi calde durante i millenni, è noto che negli ultimi secoli l'inquinamento prodotto dall'uso dei combustibili fossili sia stato la causa principale del cambiamento climatico tuttora in atto e che un ulteriore aumento delle temperature al giorno d'oggi potrebbe essere deleterio: l'acuirsi dell'effetto serra potrebbe portare a fenomeni quali ondate di caldo, precipitazioni irregolari, freddi improvvisi, alluvioni cospicue, innalzamento del livello dei mari, desertificazione di alcune regioni ed umidificazione di altre.

Grazie alla paleoclimatologia è stato possibile dimostrare la correlazione tra l'aumento delle temperature e la concentrazione di gas serra nell'atmosfera. L'esempio più conosciuto è quello della stazione di Vostok: gli studi effettuati sulle bolle d'aria intrappolate nei ghiacci estratti tramite carotaggio presso la stazione antartica russa hanno dimostrato che negli ultimi 400000 anni l'anidride carbonica (CO₂) si è attestata a 180 ppm (parti per milione) durante i periodi freddi ed a 280 ppm durante i periodi caldi (Lanza 2000). Per quanto riguarda tempi più recenti risultano significative le misurazioni delle concentrazioni di CO₂ avviate nel 1958 dallo scienziato americano Charles D. Keeling presso l'osservatorio di Mauna Loa nelle Hawaii. Secondo tali misurazioni i livelli di CO₂ dalla fine degli anni '50 ad oggi sono aumentati considerevolmente: si sono attestati a 315 ppm nel primo anno delle misurazioni, 370 ppm nel 2000, 389 ppm nel 2010 e 419 ppm nel 2021³.

La CO₂ viene inoltre usata per il calcolo di un indice numerico noto come "potenziale di riscaldamento globale" (*Global warming potential, Gwp*), indice che tuttavia ha un margine di errore del 35%. Poiché ogni gas ha un tempo di persistenza diverso nell'atmosfera, il Gwp cambia in base all'intervallo temporale di riferimento. Per esempio, il Gwp del metano con intervallo di riferimento di un secolo è pari a 21, il che significa che una molecola di metano è 21 volte più deleteria di una molecola di CO₂ in un arco di tempo cumulativo pari a 100 anni. Se l'intervallo preso in considerazione è invece di 20 anni, il Gwp del metano è pari a 56, mentre per un intervallo cumulativo di 500 anni equivale a 6.5: la persistenza della CO₂ nell'atmosfera è infatti maggiore di quella del metano (Lanza 2000).

³ Global Monitoring Laboratory, *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, in "gml.noaa.gov", <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>, 25-05-2021.

1.1 L'inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico è categorizzato in inquinamento naturale ed inquinamento antropico. Sebbene l'inquinamento naturale sia consistente in termini di emissioni, le emissioni ed il riassorbimento naturale dei gas si incontrano in una sorta di punto baricentrico annullandosi a vicenda. Basti pensare, per esempio, che la CO₂ emessa nell'ambito dell'inquinamento naturale viene quasi del tutto riassorbita dagli organismi viventi: le piante trasformano le molecole di carbonio in molecole di glucosio, e gli oceani, in cui sono presenti esseri viventi quali i coralli, fissano il carbonio presente nell'anidride. Al contrario, le quantità di CO₂ emesse dall'attività umana non vengono riassorbite, e gran parte delle emissioni antropiche in generale sono inquinanti, cioè nocive sia per l'ambiente sia per l'uomo (Lanza 2000).

Le sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera si possono classificare in primarie e secondarie: mentre le prime sono emesse direttamente nella troposfera, le seconde constano dei derivati che si formano a partire dagli inquinanti primari, in conseguenza della reazione tra i gas emessi e delle reazioni fotochimiche dovute alla loro esposizione alle radiazioni solari. Tra le sostanze primarie compaiono i composti organici volatili (VOC)⁴, gli ossidi di azoto (NO_x), il monossido di carbonio (CO), l'anidride carbonica (CO₂), gli ossidi di zolfo (SO_x), l'ammoniaca (NH₃), le tossine come il benzene e l'1,3-butadiene, i composti semivolatili⁵ come gli idrocarburi aromatici policiclici (PAH) ed i furani, il particolato (PM) ed i metalli. Alcune di queste sostanze contribuiscono alla formazione di inquinanti secondari, come l'ozono (O₃) e gli aerosol secondari⁶.

Il CO è il gas che, se ossidato, porta alla produzione di CO₂. È prodotto principalmente dai motori a combustione interna, e per questo è stato uno dei primi gas ad essere stato preso in considerazione dalle regolamentazioni ambientali statunitensi

⁴ Importante classe di inquinanti dell'aria. [Qui di seguito alcune] attività e specie rilasciate: verniciatura (toluene, xilene, alcol isopropilico, metanolo, metiletilchetone, esteri acetici, esano); chimica (aldeidi, chetoni, etilene, monossido di carbonio, acido acrilico, acrilonitrile, cumene, caprolattame, anidride maleica e ftalica, vinilcloruro); fonderia (fenolo, formaldeide); lavorazione metalli (metiletilchetone, toluene e xilene, metil isobutil-chetone, isobutanolo); stampa (toluene, esano, acetato d'etile, propanolo); impianti tessili (alcoli, fenolo, toluene); produzione componenti elettronici (acetato di cellulosa, alcani, chetoni, composti clorurati); gomme (toluene, isocianati, aldeidi). (*composti organici volatili*, in "Dizionario di Economia e Finanza (2012)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/composti-organici-volatili_%28Dizionario-di-Economia-e-Finanza%29/, 26-05-2021)

⁵ Composti abbondanti sia in fase vapore sia in fase condensata.

⁶ Sono il frutto dell'ossidazione dei VOC da parte del gruppo ossidrilico (OH), dello ione nitrato (NO₃) e dell'ozono (O₃). I combustibili fossili ed i prodotti chimici volatili, quali i prodotti per la cura persona, gli sgrassatori ecc..., contribuiscono alle emissioni di aerosol secondari. (In "Molina, L. T. (2020). "Introductory lecture: air quality in megacities". *Faraday discussions*, 226, 9-52")

negli anni '60, regolamentazioni che sono risultate nell'introduzione di dispositivi antinquinanti automobilistici quali i convertitori catalitici. Il CO è estremamente velenoso, in quanto si può legare all'emoglobina nel sangue impedendo il trasporto di ossigeno. Un'elevata concentrazione di CO nell'atmosfera favorisce inoltre la produzione di O₃ e metano (CH₄). Nonostante l'ozonosfera sia fondamentale per la nostra sopravvivenza, l'O₃ presente nella troposfera è tossico per le specie viventi. All'aumento delle sue concentrazioni contribuiscono anche reazioni fotochimiche in cui sono coinvolti gli idrocarburi (HC) e gli NO_x.

Le limitazioni delle emissioni stradali degli NO_x sono state attuate in seguito alle restrizioni riguardanti il CO e gli HC, verso la metà degli anni '70, in quanto la consapevolezza del loro potenziale dannoso emerse solo in un secondo momento. Gli NO_x sono gas irritanti per le vie respiratorie che vengono formati nella combustione dell'azoto (N₂) a temperature superiori ai 600 °C. Al contempo sono dannosi per l'ambiente in quanto, reagendo con l'acqua (H₂O), generano acido nitrico (HNO₃), che insieme all'acido solforico (H₂SO₄) derivante dalle emissioni di SO_x è il responsabile principale delle piogge acide. Questo fenomeno rende il pH delle piogge inferiore a 5, rispetto al valore naturale di 5.6, e provoca l'impoverimento della fauna ittica degli ecosistemi idrici, danneggia i raccolti e le foreste e modifica la composizione del suolo. Anche gli SO_x sono dannosi per la salute umana, in quanto concentrazioni di solo 0.1-0.2 ppm possono essere deleterie per l'organismo (Tottola et al. 2005). Oltre ad essere prodotti nella sfera dell'inquinamento naturale dalle eruzioni vulcaniche, sono anche frutto dell'ossidazione dello zolfo presente nei combustibili fossili: gli SO_x sono infatti di origine antropica per il 41%. Le regolamentazioni relative allo zolfo presente nei carburanti risalgono a tempi recenti, agli anni '90 per l'esattezza: i limiti sono passati da 350 ppm nel 2000 a valori inferiori a 10 ppm nel 2009 per quanto riguarda i paesi più sviluppati (Williams et al. 2016).

Nell'atmosfera sono inoltre presenti sostanze colloidali dette aerosol, costituite da liquidi o solidi dispersi in un gas. I precursori di queste sostanze includono l'acido solforico (H₂SO₄), gli acidi organici prodotti dall'ossidazione dei VOC, le ammine e l'ammoniaca (NH₃). Gli aerosol partecipano a fenomeni di assorbimento o *scattering*⁷

⁷ Nel linguaggio scientifico, lo sparpagliamento (in it. diffusione), dovuto a riflessioni non regolari o, genericamente, a interazioni con la materia, subito da radiazioni elettromagnetiche o da fasci di particelle che si propagano in un mezzo. (*scattering*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/scattering/>, 26-05-2021)

delle radiazioni solari, riscaldando o raffreddando l'atmosfera, ed incrementando la formazione e l'accumulo del particolato (*Particulate Matter*, PM), soprattutto di PM_{2.5}. Degli studi hanno dimostrato il collegamento tra la fotolisi degli aerosol a causa delle radiazioni solari nella Pianura della Cina del Nord e l'aumento delle concentrazioni di PM_{2.5} da 250 a 500 µg/m³ (Molina 2020). Il particolato è composto da particelle solide e liquide sospese nell'aria e può essere sia di origine naturale sia di origine antropica. Il sale marino, la polvere ed il polline sono esempi di particolato naturale. Il particolato antropico proviene invece dalle fabbriche, dagli impianti elettrici, dagli incendi ed in gran parte dai trasporti, specificamente dai veicoli a diesel. Una parte del PM può anche formarsi durante reazioni che coinvolgono i VOC, SO₂ ed NO_x emessi dalle medesime fonti. Il PM si distingue in base al diametro delle particelle che lo compongono. In ordine di grandezza compaiono il particolato ultrafine (UFP), con diametro inferiore a 0.1 µm, il PM_{2.5}, con diametro inferiore a 2.5 µm, ed il PM₁₀, con diametro inferiore a 10 µm. Le particelle con diametro inferiore a 1 µm sono le più dannose, possiedono persistenza atmosferica maggiore e possono penetrare facilmente nelle sacche alveolari dei polmoni.

Le sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera non sono solo pericolose in quanto tali ma sono al contempo concatenate da dinamiche molto complesse. Per fare un esempio, non è sufficiente abbattere gli NO_x per evitare la produzione di O₃ per fotolisi dell'NO₂, ma è necessario provvedere al contempo alla riduzione dei VOC, poiché detti gas sono chimicamente vincolati tra loro (Molina 2020). Nell'aria sono presenti i cosiddetti radicali liberi, entità molecolari o atomiche molto reattive che presentano un elettrone spaiato e che possono legarsi ad altri radicali o molecole. Essi includono il gruppo ossidrilico (OH), i radicali perossido (RO₂)⁸, l'ozono (O₃) e lo ione nitrato (NO₃). Solitamente NO reagisce con RO₂ per formare NO₂, che come già detto reagisce con le radiazioni solari formando O₃. Verrebbe spontaneo pensare che in condizioni di inquinamento, con l'aumento degli NO_x, aumentino anche le concentrazioni di O₃. Tuttavia, nell'atmosfera sono spesso presenti alte quantità di VOC, che vanno a rompere l'equilibrio tra NO_x e O₃. In presenza di alte quantità di VOC e di quantità ridotte di NO_x, gli NO_x reagiscono con l'RO₂ generando un aumento delle concentrazioni di O₃. Se invece la concentrazione di NO_x è elevata, questi ultimi iniziano a reagire con l'OH,⁹ portando alla produzione di acido nitrico (HNO₃) e nitrati alchilici e non più di O₃. Oltre a mettere in luce la fragilità dell'equilibrio chimico dell'atmosfera, questo esempio dimostra come

⁸ RO₂ è il risultato della reazione tra i VOC e l'OH.

⁹ Se NO_x inizia a reagire con OH, OH non può più ossidare VOC e generare RO₂. Minori quantità di RO₂ comportano minori quantità di O₃.

l'atmosfera sia un sistema profondamente complesso, che va approcciato poliedricamente al fine di ridurre tutte le componenti nocive. I sistemi catalitici sono una soluzione valida che può essere applicata a tutte le fonti di inquinamento atmosferico di origine antropica, in primis i mezzi di trasporto.

1.2 Cina: la questione ambientale

I primi episodi di inquinamento a livello mondiale si sono attestati a Los Angeles nel 1943, quando gli americani credettero di essere sotto l'attacco del nemico giapponese a causa della fitta coltre di nebbia che avvolgeva la città¹⁰, ed a Londra nel 1952, evento che provocò migliaia di morti, ricordato come il "Grande Fumo". Le cause di queste due catastrofi sono da riscontrarsi nelle emissioni di NO_x e di VOC prodotte dai veicoli americani a Los Angeles e nella combustione di carbone con alti quantitativi di zolfo delle fabbriche londinesi. I due eventi risultarono nelle prime legislazioni antinquinamento della storia: il Clean Air Act del Regno Unito emanato nel 1956, che limitò l'uso del carbone "solforoso", ed il Clean Air Act degli Stati Uniti firmato nel 1963, che portò all'installazione dei primi strumenti catalitici per la filtrazione dei gas di scarico dei mezzi di trasporto.

Ai tempi dei primi episodi di inquinamento negli Stati Uniti e in Europa, la Cina era sostanzialmente un paese agricolo: nel 1952 la maggior parte della forza lavoro cinese, per l'esattezza l'83%, trovava infatti impiego nel settore primario (Cheremukhin et al. 2015). Tuttavia, durante la politica maoista del "Grande Balzo in avanti" il settore industriale sarebbe diventato centrale nell'economia cinese e le concentrazioni di inquinanti nell'atmosfera avrebbero iniziato ad accentuarsi (Beyer 2006). Le prime misurazioni ambientali risalgono agli anni '70, con lo stabilimento di un sistema di monitoraggio della qualità dell'aria a livello nazionale nel decennio successivo (Wan et al. 2013). Secondo le misurazioni la quantità di CO₂ emessa nell'atmosfera all'inizio degli anni '70 in Cina superava i 900 milioni di tonnellate all'anno¹¹ e, nonostante il tasso di crescita annuale delle emissioni si sarebbe attenuato con la morte di Mao Zedong nel 1976, sarebbe presto tornato a crescere durante la politica di Riforma e Apertura (*Gaige kaifang*, 改革开放) guidata da Deng Xiaoping dal 1978 (Ritchie 2017).

Successivamente a un periodo di alluvioni e siccità, nel 1972 la Cina decise di partecipare alla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente Umano e nel 1978 il concetto di responsabilità statale per la protezione ambientale fu finanche integrato nel testo della costituzione cinese (Beyer 2006). Negli anni '90 l'inquinamento atmosferico continuò ad aggravarsi, in particolar modo per tre ragioni. In primo luogo, in conseguenza

¹⁰ McNally J., (2010) *July 26, 1943: L.A. Gets First Big Smog*, in "wired.com", in <https://www.wired.com/2010/07/0726la-first-big-smog/>, 26-05-2021.

¹¹ World Data Atlas, *China - CO2 emissions*, in "knoema.com", in <https://knoema.com/atlas/China/CO2-emissions>, 27-05-2021.

del processo di urbanizzazione la popolazione urbana passò dal 20% al 32% della popolazione totale, pari a 1.3 miliardi di abitanti, provocando un aumento della concentrazione di emissioni gassose in aree delimitate e dunque una maggior intensità delle ripercussioni ambientali ed umane dell'inquinamento atmosferico. In secondo luogo, dato il celere sviluppo dell'infrastruttura dei trasporti, nel 1993 la Cina divenne un importatore netto di petrolio greggio, totalizzando una crescita annua di quattro punti percentuali sulle importazioni e raggiungendo le 40 milioni di tonnellate di greggio importate nel 1997 (Gan 2003). Infine, le politiche governative per incentivare l'acquisto di veicoli privati risultarono in un aumento della domanda per il mercato delle autovetture, e di conseguenza in un ulteriore consumo di combustibili fossili: quindici anni dopo i consumi di benzina e di gasolio avrebbero varcato la soglia rispettivamente dei 95 e 172 Mt (Wang et al. 2019). Secondo la Banca Mondiale alla fine degli anni '90 la quantità di gas serra risultanti dall'inquinamento automobilistico in Cina ammontava al 33% del totale, tanto che il 2.5% del PIL era destinato solamente alla gestione dei danni provocati dalle emissioni di CO₂ (Gan 2003). Inoltre, secondo alcuni studi nei primi anni 2000 i mezzi di trasporto cinesi erano responsabili per il 12-36% delle emissioni di NO_x, il 37-43% dei VOC, l'11% del PM₁₀ ed il 17% del PM_{2.5} dell'intero paese (Wang et al. 2019).

A causa dell'inasprimento della questione ambientale negli anni '90 il governo cinese iniziò a emergere sulla scena mondiale dei trattati internazionali sul clima. In prima istanza, la Cina aderì alla Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) svoltasi a Stoccolma nel 1992, in cui fu stabilito che una Conferenza delle parti (COP) sarebbe stata convocata periodicamente per monitorare i progressi raggiunti dai paesi aderenti. In tale occasione la Cina partecipò come paese *non annex*, cioè come paese in via di sviluppo non vincolato dalla convenzione, e prese parte al Protocollo di Kyoto (COP 3) del 1992 con le stesse modalità. Solo nel 2015 con l'Accordo di Parigi (COP 21) sarebbe cessata la distinzione tra paesi *annex* e paesi *non annex*, rendendo l'accordo vincolante per tutti i paesi membri, Cina inclusa. Verso la fine degli anni '90, quando tre delle dieci città più inquinate al mondo erano città cinesi, come affermato da un rapporto dell'OMS del 1998, nel "Paese di Mezzo" iniziarono ad essere stilate le prime leggi antinquinamento, che includevano anche fonti localizzate quali i rifiuti urbani e l'inquinamento acustico (Beyer 2006). In seguito agli emendamenti del 1995 e del 2000 alla Legge per il Controllo e la Prevenzione dell'Inquinamento Atmosferico (*Da qi wuran fangzhi fa*, 大气污染防治法) del 1987, i veicoli iniziarono ad essere vincolati da limitazioni imposte sulle emissioni di

scarico e ad essere sottoposti a controlli annuali (Beyer 2006). Inoltre, gli emendamenti vietavano la vendita di carburanti con piombo a livello nazionale a partire dal 2000, aprendo la strada agli “standard EURO”.

Grazie alla partecipazione della Cina ai vertici internazionali sull’ambiente, l’ultimo la conferenza Cop25 tenutasi a Madrid nel 2019, le concentrazioni di gas inquinanti nei cieli delle principali città cinesi si sono parzialmente ridimensionate, fatta eccezione per esempio per l’O₃, la cui concentrazione continua a svettare in particolare durante i pomeriggi delle stagioni estive (Molina 2020). La presenza di ozono troposferico, come esaminato nel paragrafo precedente, può essere dovuta alla sua relazione inversamente proporzionale ad alcune altre particelle inquinanti, ma anche alla conformazione di alcune regioni del territorio cinese, per esempio la Pianura della Cina del Nord, dove è situata capitale cinese. L’esperienza del SARS-CoV-2 (coronavirus COVID-19) è significativa a riguardo: durante i lockdown indetti in Cina durante la pandemia mondiale di COVID-19 si è assistito ad una riduzione delle emissioni di tutti i principali gas inquinanti con l’eccezione dell’O₃, ed in alcuni casi anche del PM_{2,5}, che ha portato a svariati episodi di nebbia intensa. In alcune regioni cinesi, l’atmosfera è caratterizzata da un’eccessiva stabilità dell’aria ed un livello di limite atmosferico¹² troppo basso, dovuti a dinamiche chimiche che coinvolgono le miscele di aerosol presenti nella troposfera (Molina 2020). Con l’annullamento quasi totale del traffico automobilistico durante i lockdown, le concentrazioni di NO_x sono diminuite. Tuttavia, le attività industriali degli impianti elettrici e petrolchimici sono proseguite, non permettendo che avvenisse lo stesso per i livelli di VOC. Queste premesse hanno di conseguenza posto le basi per un aumento dell’O₃ troposferico, estremamente dannoso, facilitando l’ulteriore formazione di aerosol secondari (Molina 2020).

¹² Si definisce strato limite atmosferico (SLA) o strato limite planetario (SLP) la parte della troposfera direttamente influenzata dalla superficie terrestre e che risponde alle sue variazioni con scale dei tempi inferiori o uguali a un’ora. Lo studio dello SLA è di fondamentale importanza perché al suo interno si concentra la quasi totalità della biosfera e viene resa disponibile la gran parte dell’energia utilizzata per i moti atmosferici. La misura delle variabili meteorologiche, lo studio dei processi, e la determinazione dei flussi di energia osservati nello SLA sono quindi essenziali per una corretta previsione meteorologica e per una valutazione accurata delle velocità di dispersione o di accumulo degli inquinanti rilasciati in atmosfera come conseguenza dell’attività umana. (*strato limite*, in “Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)”, in https://www.treccani.it/enciclopedia/atmosfera-lo-strato-limite_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, 26-05-2021).

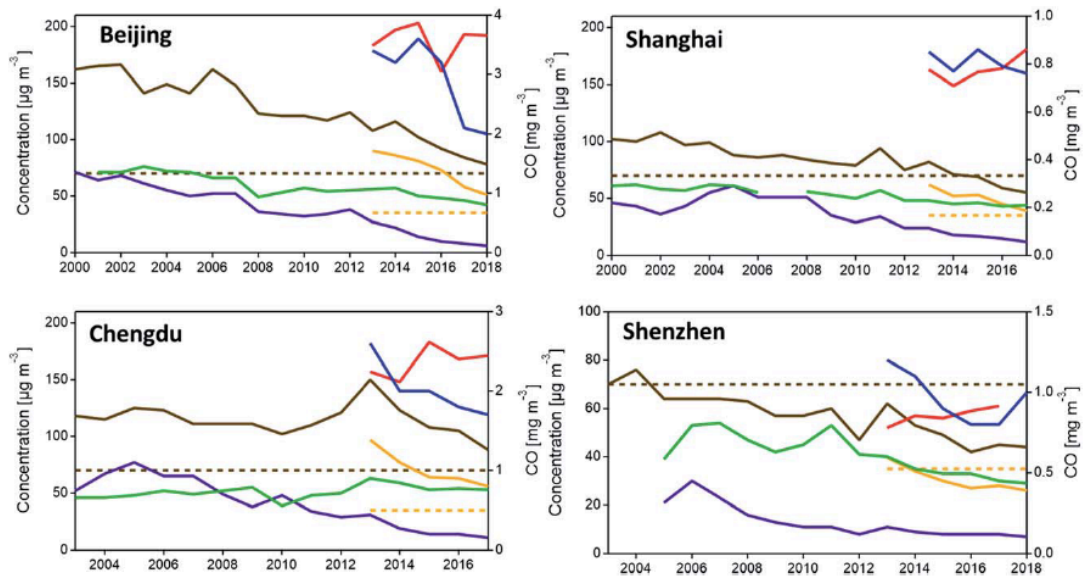


Figura 1: Emissioni di O_3 (in rosso), CO (in blu), NO_2 (in verde), SO_2 (in viola), PM_{10} (in marrone) e $\text{PM}_{2.5}$ (in giallo) nelle principali città cinesi.

1.2.1 Gli standard sulle emissioni inquinanti in Cina

Il primo standard europeo sulle emissioni inquinanti, l'omologazione Euro 1, fu introdotto in Europa nel 1993, e cominciò ad essere attuato in Cina nel 2001 sotto la denominazione Cina 1 (*Guo yi*, 国一), in termini legislativi GB 18352.1-2001, cioè Standard Nazionale (*Guo biao*, 国标) numero 18352.1 del 2001. Lo standard Cina 1 impose l'installazione dei convertitori catalitici e del sistema di alimentazione a iniezione su tutti i veicoli immatricolati dal 2001, per l'abbattimento di CO, HC ed NO_x. Secondo l'Istituto Mondiale delle Risorse (World Institute of Resources, WRI) l'osservanza di tale standard avvenne gradualmente, in quanto nei primi anni 2000 i veicoli prodotti in Cina emettevano ancora 2.5-7.5 volte più HC, 2-7 volte più NO_x e 6-12 volte più CO rispetto ai veicoli prodotti all'estero (Gan 2003) Tuttavia, i dispositivi di cui erano equipaggiati i nuovi veicoli garantivano emissioni minori rispetto agli anni '90, ed i sistemi di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico erano sempre più diffusi: nel 2000 fu introdotto l'indice di inquinamento dell'aria API (*Air Pollution Index*), un indice giornaliero per monitorare la qualità dell'aria in 42 città, nel 2013 sostituito dal più noto indice AQI (*Air Quality Index*), esteso a 72 città (Wan et al. 2013).

Dal 2005 al 2021 si è susseguita l'implementazione degli standard Cina 2 – Cina 6a a livello nazionale, rispettivamente nel 2005, 2008, 2011, 2017 e 2020, standard che hanno continuato a rispecchiare le corrispettive omologazioni europee Euro 2 – Euro 6. Le uniche differenze degne di nota emergono in occasione dello standard Cina 6, la cui fase b, che entrerà in vigore nel 2023, descrive limitazioni più severe rispetto allo standard Euro 6. Le limitazioni più severe sono iniziate con la promulgazione dello standard Cina 3, e sono continuate fino allo standard Cina 6, con il passaggio dei limiti di CO da 2.3 a 0.7 g/km, di HC da 0.2 a 0.1 g/km, e di NO_x da 0.15 a 0.06 g/km dallo standard Cina 3 (*Guo san*, 国三) allo standard Cina 6 (*Guo liu*, 国六) per i motori a benzina. Per quanto concerne invece i motori a ciclo Diesel le limitazioni sono passate da 0.64 a 0.7 g/km per il CO, da 0.56 a 0.06 per gli NO_x, e da 0.05 a 0.0045 g/km per il PM¹³. Con lo standard Cina 3 è avvenuto forse il cambiamento più significativo a livello meccanico-elettronico: i veicoli sono stati dotati dei sistemi di diagnostica di bordo (*On Board Diagnostic*, OBD), tecnologia finalizzata al mantenimento per via elettronica dei valori delle emissioni nei limiti preimpostati. Successivamente, a

¹³ Transport Policy, *China: Light-Duty: Emissions*, in "transportpolicy.net", in <https://www.transportpolicy.net/standard/china-light-duty-emissions/>, 27-05-2021.

partire dal 2013, durante la fase di implementazione dello standard Cina 4, il governo cinese ha provveduto ad incentivare la rottamazione dei cosiddetti “veicoli con etichetta gialla” (*Huang biao che*, 黄标车)¹⁴, ovvero veicoli a benzina che non soddisfavano i requisiti dello standard Cina 1 e veicoli a gasolio inferiori allo standard Cina 3, veicoli altamente inquinanti le cui emissioni ammontavano rispettivamente al 52.4%, 78.8%, 49.0% e 52.9% delle emissioni totali di NO_x, PM, CO, e HC (Wang et al. 2019).

Lo standard Cina 5 è invece entrato in vigore in seguito alla diffusione dei motori a benzina a iniezione diretta, caratterizzati da temperature operative ridotte ed elevate emissioni di PM, nonché pochi anni dopo gli emendamenti del 2012 agli Standard Nazionali per la Qualità dell’Aria (NAAQS, o GB3095-2012) del 1996, che limitavano per la prima volta le concentrazioni di O₃ e PM_{2.5} nell’atmosfera. Per questo motivo lo standard Cina 5 ha imposto limitazioni severe equivalenti a 0.0045 g/km per il PM, che è stato ulteriormente ridotto a 0.003 g/km con l’implementazione dello standard Cina 6a.

Per quanto riguarda i cicli di guida, cioè i test effettuati sui veicoli per misurarne le emissioni prima che vengano commercializzati, la modifica principale è avvenuta in anni recenti, durante il passaggio dallo standard Cina 5 allo standard Cina 6a. Il ciclo di guida in uso in Cina fino al 2020, ovvero il ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*), è stato sostituito dal ciclo mondiale WLTP (*Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*). Il ciclo WLTP si differenzia dal ciclo NEDC in quanto sottopone il veicolo a condizioni di prova più realistiche, il più possibile vicine al comportamento effettivo riscontrato in condizioni di guida reale. Poiché le abitudini di guida degli automobilisti sono cambiate nel corso degli ultimi trent’anni, cioè da quando è stato ideato il ciclo NEDC, il nuovo ciclo di guida descrive test prolungati, sia nel tempo sia nello spazio, con una velocità media e massima maggiori e con un’esposizione del veicolo a un intervallo di temperature più esteso. Di recente l’NEDC è stato integrato con il test RDE (*Real Driving Emissions*), una prova svolta direttamente su strada grazie a dei sistemi di misurazione portatili (*Portable emissions measurement system*, PEMS) posti sul veicolo, per garantire la veridicità su strada del test in precedenza eseguito solamente in laboratorio.

¹⁴ Gli altri veicoli, meno inquinanti, sono dotati di un’ “etichetta verde” (*Lv biao che*, 绿标车).

CAPITOLO 2

LA CINA E I MERCATI

2.1 Il mercato dell'auto

Il mercato dei sistemi catalitici automobilistici è strettamente legato al mercato degli autoveicoli, allo sviluppo della tecnologia dei sistemi catalitici in generale, all'innovazione delle legislazioni ambientali e delle relative omologazioni ed alle politiche di incentivazione di un certo tipo di alimentazione piuttosto che un altro, come le politiche di incentivazione dei veicoli alimentati a diesel adottate negli anni '80 in Europa. Il mercato automobilistico cinese è iniziato a crescere all'inizio degli anni '80, molto più tardi rispetto ai mercati occidentali, europeo e nordamericano (Gang 2004). Basti pensare che i veicoli presenti sul suolo americano all'inizio degli anni '20 superavano i 2 milioni, mentre la Cina ne contava 2.4 milioni nel 1984, e quattro volte tanto, 13 milioni, nel 1998 (Gan 2003). Allo stesso modo i veicoli prodotti negli Stati Uniti nel 2000, un anno prima della dotazione dei convertitori catalitici sui nuovi veicoli registrati in Cina, ammontavano a quasi 13 milioni, laddove in Cina lo stesso anno equivalevano all'85% in meno, ovvero 2 milioni di unità, la stessa quantità dei mezzi fabbricati lo stesso anno in Italia, un paese con una superficie territoriale 32 volte minore rispetto a quella cinese¹⁵. Nel 2000 in Cina solo tre persone su mille possedevano auto di proprietà ed i veicoli totali ammontavano a 15 milioni, di cui 6 milioni erano veicoli passeggeri (Gan 2003).

La vorticoso crescita del mercato dell'*automotive* cinese è iniziata circa 20 anni fa, in seguito all'adesione della Cina all'OMC. La Cina è passata infatti dai 2 milioni prodotti nel 2000 ai 25 milioni di veicoli prodotti nel 2020, nonostante gli ultimi quattro anni siano stati contrassegnati da un trend al ribasso. Il mercato cinese occupava il 29% della quota mondiale nel 2018, seguito dal 12% degli USA e dal 10% del Giappone (ANFIA 2019). A partire rispettivamente dal 2015 e dal 2018, i mercati cinesi dei veicoli pesanti e dei veicoli leggeri, hanno subito una flessione, del 3% annuo per gli autoveicoli e fino al 30% nel solo 2015 per i mezzi pesanti, flessione attutita qualche anno dopo dalle politiche ambientali definite "Blue Sky Defense Battle" (*Lantian baowei zhan* 蓝天保卫

¹⁵International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, *2000 Production Statistics*, in "oica.net", <https://www.oica.net/category/production-statistics/2000-statistics/>, 28-05-2021.

战) indette nel 2018 dal governo cinese (Yao et al. 2018). Grazie a questa strategia entro il 2020 sono stati sostituiti più di un milione di mezzi pesanti a diesel con omologazione inferiore allo standard Cina III¹⁶ nelle sole regioni di Pechino-Tianjin-Hebei e della Pianura di Fenwei¹⁷, il che ha permesso al mercato dei mezzi pesanti, e dunque dei convertitori catalitici, di totalizzare un +5% nel 2018 (Yao et al. 2018). Il calo sui volumi delle autovetture prodotte nel 2018 ha coinvolto anche alcuni paesi occidentali, per esempio l'Italia con un calo al -7% ed il Regno Unito con un calo al -8%, a causa dell'introduzione nel settembre dello stesso anno del ciclo di guida WLTP. Prima di crollare, le vendite sono impennate nel mese di agosto, quando le case produttrici hanno dovuto provvedere a smaltire l'inventario dei veicoli con omologazioni precedenti. D'altro canto, la flessione del mercato cinese delle autovetture è stata dovuta all'anticipazione degli acquisti avvenuti nel 2017 in vista dell'introduzione della tassa fino al 40% per i mezzi con cilindrata fino a 1.6 L prodotti su suolo cinese, ai tagli agli incentivi sulle auto ed al calo della fiducia dei consumatori¹⁸.

Negli ultimi anni, la Cina si è concentrata sulla produzione di veicoli a nuova energia (NEV), inseriti tra i dieci settori del programma Made in China 2025 (*Zhongguo zhizao 2025*, 中国制造 2025), conferendole la nomina di maggior produttore di veicoli NEV al mondo¹⁹. Nel 2019 è stato raggiunto l'obiettivo di fabbricazione di un milione di veicoli NEV: degli 1.2 milioni di veicoli NEV prodotti a fine anno un milione erano veicoli BEV, cioè veicoli elettrici a batteria, non dotati di convertitore catalitico, mentre più di 200000 erano veicoli PHEV, cioè ibridi plug-in, e quasi 3000 veicoli FCV, cioè veicoli ad idrogeno, che hanno invece incrementato le quote del mercato di sistemi catalitici per l'*automotive*²⁰.

¹⁶ Per le normative *Guobiao* riguardanti i mezzi pesanti vengono usati i numeri romani.

¹⁷ Consiglio di Stato della RPC 国务院 (2018), *Guowuyuan guanyu yinfa daying lantian baowei zhan san nian xingdong jihua de tongzhi* 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知 (Avviso del Consiglio di Stato: piano d'azione triennale per la battaglia di conquista e difesa del "cielo azzurro"), in "gov.cn", http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm, 28-05-2021.

¹⁸ ANFIA (2019), *L'industria automotive mondiale nel 2019 e trend 2020*. Torino: ANFIA Area Studi e Statistiche.

¹⁹ Privacy Shield, *China - Automotive Industry*, in "privacyshield.gov", <https://www.privacyshield.gov/article?id=China-Automotive-Components-Market>, 28-05-2021.

²⁰ ANFIA (2019), *L'industria automotive mondiale nel 2019 e trend 2020*, op. cit.

2.2 Il mercato dei convertitori catalitici

Il mercato dei convertitori catalitici risale agli anni '70 per gli Stati Uniti, agli anni '80 e '90 per i paesi europei ed agli anni 2000 per la Cina. È un mercato in costante evoluzione che procede parallelamente al ricorrente aggiornamento delle politiche ambientali finalizzate all'abbattimento dell'inquinamento atmosferico: durante la conferenza Cop25 del 2019 più di settanta paesi si sono infatti impegnati a raggiungere la neutralità climatica, cioè emissioni di CO₂ pari a zero, entro il 2050²¹. Il volume del mercato mondiale dei sistemi catalitici per autoveicoli è stimato a circa 100 miliardi di dollari, e gode di una crescita potenziale cumulativa del 50% dal 2021 al 2027²². I convertitori catalitici sono stati introdotti in Cina contemporaneamente allo standard Cina 1 nel 2001. Da allora il mercato cinese è in continua espansione, e ha raggiunto livelli di crescita elevatissimi negli ultimi anni, in particolare in seguito all'introduzione dello standard Cina 5 nel 2017, quando sono stati resi obbligatori i dispositivi GPF, necessari per ridurre le emissioni di particolato sui veicoli GDI²³ a benzina, e successivamente allo standard Cina VI nel 2020, quando i mezzi pesanti a diesel sono stati dotati del sistema SCR per ridurre le emissioni di NO_x. Il mercato dei sistemi catalitici per auto dipende dunque anche dall'alimentazione dei veicoli venduti: per esempio, mentre i veicoli a benzina sono principalmente equipaggiati con convertitore TWC, che ossida gli HC ed il CO e riduce gli NO_x, e dal 2017 con filtro GPF, e mentre i veicoli a idrogeno possiedono un unico *stack*, cioè una serie, di celle a combustibile, nei veicoli a diesel sono presenti un convertitore ossidante DOC, o in alternativa una trappola LNT, un filtro DPF, ed un sistema SCR con annesso un convertitore ASC. La produzione di veicoli a diesel di conseguenza va ad incrementare maggiormente il volume totale del mercato dei convertitori catalitici rispetto alla produzione di veicoli a benzina o ad idrogeno. Per questo motivo lo standard Cina VI e la politica di rinnovo dei veicoli pesanti a diesel "Blue Sky Defense Battle" hanno contribuito ampiamente alla crescita del mercato delle marmitte catalitiche. I convertitori impiegati nei veicoli pesanti sono inoltre di dimensioni maggiori rispetto ai convertitori adibiti alle autovetture, e segnano dunque un incremento esponenziale dei materiali utilizzati per la costruzione dei convertitori. Per esempio, il volume di un convertitore

²¹ Nazioni Unite, *Cop25: la Conferenza ONU sul cambiamento climatico, 5 cose da sapere*, in "unric.org", <https://unric.org/it/cop25-la-conferenza-onu-sul-cambiamento-climatico-5-cose-da-sapere/>, 28-05-2021.

²² Global Industry Analysts (2021), *Automotive Catalytic Converter*, in "giichinese.com.cn", <https://www.giichinese.com.cn/report/go940709-automotive-catalytic-converter.html>, 29-05-2021.

²³ A iniezione diretta, una modalità con temperature ridotte ed elevate emissioni di PM.

DOC equivale alla cilindrata del mezzo su cui viene montato, quindi un autocarro con cilindrata di 10 L sarà dotato di un convertitore DOC con volume pari a 10 litri (Heck et al. 2009).

Se le unità di convertitori catalitici aumentano in base al numero di veicoli commercializzati, il volume dei mercati dei materiali impiegati per la loro produzione aumenta esponenzialmente in base alla dimensione dei convertitori. È questo il caso dei mercati dei monoliti ceramici, cioè i supporti per il materiale catalitico, dei catalizzatori di metalli nobili, e dei setacci molecolari, materiali questi ultimi entrati in auge di recente grazie alle normative di recente introduzione. Il volume del mercato mondiale dei monoliti ceramici ammonta a 300 milioni di litri ed è concentrato principalmente nel continente asiatico (Yao et al. 2018). Come i materiali catalitici ed i setacci molecolari, l'andamento del loro mercato in Cina ha seguito lo sviluppo delle recenti normative ambientali, dal momento che essi vengono impiegati nella maggior parte dei dispositivi catalitici: altre tipologie di supporto, come il supporto a pellet, o granuli, sono infatti usate raramente, mentre i monoliti metallici vengono adottati da case produttrici di veicoli ad alte prestazioni, poiché dotati di miglior conduttività. È stato stimato che il mercato cinese dei monoliti ceramici consti di 60 milioni di litri per quanto concerne la sola omologazione Cina 5, e che in seguito all'implementazione totale dello standard per i veicoli a diesel Cina VI supererà i 120 milioni di litri (Yao et al. 2018).

Il mercato mondiale dei metalli nobili, ossia platino, palladio e rodio, destinati al mercato automobilistico, nel 2020 ammontava rispettivamente a 63000 kg, 255000 kg e 25000 kg. Lo stesso anno il mercato del platino è aumentato a livello mondiale solo in Cina ed in India, grazie al settore dei mezzi pesanti, raggiungendo complessivamente un volume pari a 5400 kg. Lo standard Cina 6 ha successivamente incrementato i volumi di rodio e palladio necessari per i singoli convertitori, portando la quota del mercato cinese rispettivamente a 10000 e 74000 kg (Cowley 2021). I setacci molecolari, nello specifico le zeoliti, sono diventati uno dei materiali più utilizzati nei convertitori catalitici, soprattutto nei dispositivi SCR, che convertono gli NO_x nei veicoli a diesel: le motivazioni vanno ritrovate nella loro efficienza e nella possibilità di abbinarli a metalli vili in qualità di catalizzatori molto più economici dei metalli nobili. La quantità di zeolite necessaria è pari a 150 g per ogni litro di ceramica monolitica, che per il volume di monoliti stimato per soddisfare lo standard Cina VI equivarrebbe a 18000 tonnellate di minerale. Si può dunque affermare che il progetto Blue Sky Defense Battle abbia ampliato il mercato delle zeoliti di 4000 tonnellate, con cui sono stati impregnati i 30 milioni di

litri necessari per la produzione dei convertitori catalitici dei nuovi mezzi pesanti a diesel (Yao et al. 2018).

2.3 Aziende produttrici di convertitori catalitici

Le aziende che dominano il mercato dei sistemi catalitici automobilistici si dividono in aziende di sistemi di scarico (OEM)²⁴, che realizzano il prodotto finito rifornendosi da altre aziende o gestendo esse stesse la produzione delle componenti, aziende produttrici di catalizzatori ed aziende produttrici di supporti monolitici. Le aziende principali che operano nel mercato cinese sono aziende estere che godono di molti anni di esperienza nel settore. Alcune case produttrici di catalizzatori, per esempio, hanno iniziato a commerciare convertitori catalitici negli anni '70 in California, il primo luogo dove sono stati adottati tali dispositivi. Tra queste sono degne di nota l'inglese Johnson Matthey, fondata nel 1817 a Londra, e l'americana Engelhard, fondata nel 1902 a Newark ed acquisita dalla tedesca BASF nel 2006. Entrambe si sono aggiudicate meriti importanti nella progettazione dei primi convertitori catalitici moderni, in particolar modo i convertitori a tre vie che soddisfarono le prime regolamentazioni dell'EPA (Environmental Protection Agency) e della CARB (California Air Resources Board) entrate in vigore nel 1975. La JM e la BASF, insieme alla belga Umicore, sono le maggiori aziende di catalizzatori attive sul mercato cinese, ed operano in tutti i settori automobilistici, incluso quello dei veicoli elettrici. Collaborano da vicino con i produttori di monoliti ceramici, l'americana Corning Incorporated, ex Corning Glass Works, e la giapponese NGK, che insieme occupano il 90% del mercato mondiale di monoliti ceramici. La Corning fu la prima azienda, negli anni '70, a brevettare il monolite ceramico in cordierite, ad oggi il substrato più diffuso del mondo (Heck et al. 2009).

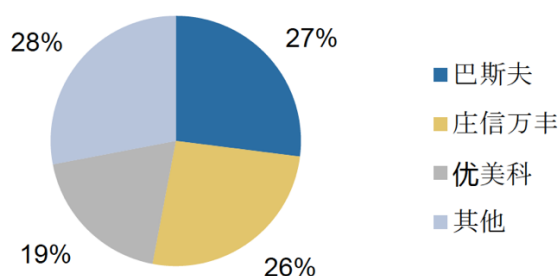


Figura 2: I maggiori player del mercato cinese dei convertitori catalitici nel 2018: dall'alto BASF, JM, Umicore e "altre".

²⁴ Un OEM (Original Equipment Manufacturer) realizza componenti di prodotti venduti da un'altra società. Un componente OEM potrebbe essere una parte, un sottosistema o un software. Ne sono degli esempi i sistemi operativi e i microprocessori nei computer: in genere, il produttore del computer non produce né il microprocessore né il sistema operativo, ma li acquista invece su base OEM da altre società. In questo senso OEM si riferisce anche al processo di approvvigionamento di un componente da un'altra società. (OEM, in "hpe.com", in <https://www.hpe.com/it/it/what-is/oem.html>, 29-05-2021)

Nella classifica delle case produttrici cinesi di convertitori, in particolare di convertitori TWC, stilata nel 2019 dalla China Association of Environmental Protection Industry (*Zhongguo huanjing baohu chanye xiehui* 中国环境保护产业协会 CAEPI), compaiono la Weifu High-Tech (*Weifu gaoke* 威孚高科), la Sino-Platinum Metals (*Guiyan boye* 贵研铂业) e la Sinocat (*Zhongzi huanbao keji* 中自环保科技). Mentre la Weifu High-Tech e la Sino-Platinum Metals si rivolgono solamente agli OEM, la Sinocat ricopre anche il settore dell'aftermarket, in modo da poter rifornire anche le aziende che effettuano la sostituzione dei convertitori catalitici²⁵. Le prime due aziende si contraddistinguono per l'integrazione del processo di canning²⁶, o sigillatura, del dispositivo, mentre molte aziende esternalizzano questa fase della catena produttiva. La Weifu High-Tech, noto produttore di componenti automobilistiche in Cina, esporta in America, Medio Oriente e nel Sud-est asiatico ed ha superato uno dei maggiori produttori di sistemi di scarico al mondo, la francese Faurecia, per volume di dispositivi prodotti con omologazione Cina 5 o equivalente. La Sinocat ha rivolto la propria attenzione anche verso tecnologie innovative prendendo parte a numerosi progetti di ricerca presso centri quali la Sichuan University e partecipando al China Torch Program²⁷ per la ricerca e lo sviluppo di convertitori per veicoli a celle a combustibile. La Sino-Platinum Metals si dedica invece principalmente più a monte della catena produttiva, in particolare alla lavorazione ed alla preparazione di leghe di metalli nobili per il commercio di catalizzatori e sensori catalitici, indirizzati all'industria automobilistica, chimica, aeronautica, edile, biomedica, metallurgica ed altre ancora.

Le aziende di sistemi di scarico internazionali con i maggiori volumi di vendite sul mercato cinese sono la francese Faurecia, l'americana Tenneco, le tedesche Eberspächer e Benteler e l'italiana Magneti Marelli. La Faurecia detiene la quota maggiore del mercato mondiale dei sistemi di scarico sia per i veicoli leggeri sia per i veicoli commerciali. Nel 2013 ha fondato la JV Faurecia Power Green Emissions Control Technologies (*Paigeli Fojiya paifang kongzhi jishu*, 派格丽佛吉亚排放控制技术) in collaborazione con la compagnia di Suzhou Paigeli Discharge Reduction System (*Paigeli*

²⁵ I convertitori vanno infatti sostituiti dopo una percorrenza media di 100000 km.

²⁶ La chiusura del monolite e delle altre componenti interne nel guscio metallico del convertitore catalitico.

²⁷ Un programma del Ministero della Scienza e della Tecnologia per l'innovazione tecnologica introdotto nel 1988. (Ministry of Science&Technology of China, *Huoju jihua xiangmu zongti gaikuang* 火炬计划项目总体概况 [Panoramica generale del China Torch Program], in "chinatorch.gov.cn", http://www.chinatorch.gov.cn/hjjh/gaikuang/201312/b9f2949636604ad1895e276591d3_f32c.shtml, 29-05-2021).

jianpai xitong 派格丽减排系统). La Faurecia è inoltre l'azienda che ha sviluppato il primo filtro antiparticolato per veicoli a benzina (GPF), introdotto su larga scala da aziende quali la Daimler nel 2014, anno in cui è stato omologato lo standard Euro 6²⁸. Anche i profitti della statunitense Tenneco mostrano da anni una tendenza al rialzo sul mercato sinico, dove ad oggi la compagnia possiede un totale di venti stabilimenti²⁹. La sede cinese, nonché il primo impianto di sistemi di scarico cinesi della Eberspächer, si trova invece nel distretto Jiading di Shanghai. L'azienda tedesca si è estesa nello Shaanxi fondando a Xi'an la JV Eberspächer Exhaust Technology (*Aibeiji paiqi jishu* 埃贝赫排气技术) con la Shaanxi Wanfang Auto Parts (*Shanxi Wanfang qiche lingbujian* 陕西万方汽车零部件). L'italiana Magneti Marelli, oggi Marelli Holdings, possiede infine una WFOE³⁰ a Guangzhou, la Magneti Marelli Guangzhou Motor Vehicle Instruments (*Guangzhou Maruili qiche yibiao* 广州马瑞利汽车仪表), mentre la Magneti Marelli Powertrain (*Maruili dongli xitong* 马瑞利动力系统) e la Magneti Marelli Automotive Components (*Maruili qiche lingbujian* 马瑞利汽车零部件) sono ubicate rispettivamente a Shanghai ed a Wuhu. Le due controllate si occupano principalmente di convertitori catalitici e la sede di Shanghai vanta finanche di un Laboratorio di Ricerca e Sviluppo che si concentra sulle nuove tecnologie e sui sistemi GDI ad iniezione diretta³¹.

Ad oggi la maggior parte delle aziende cinesi si vede coinvolta principalmente nell'ultima fase della catena produttiva del settore, rappresentata dall'assemblaggio delle componenti dei dispositivi catalitici, fase da cui tuttavia è difficile trarre ingenti profitti. Per questo motivo le aziende locali nella maggior parte dei casi non hanno esito nel reperimento di fondi sufficienti ad investire nel settore R&D ed integrare i livelli superiori del ciclo di produzione. Secondo gli esperti le piccole imprese locali possono sviluppare il proprio *know-how* collaborando con le aziende connazionali con più esperienza nel settore, quali la Weifu High-Tech e la Sino-Platinum Metals, per poter ambire a diventare esse stesse dei fornitori di successo su larga scala (Chen 2015).

²⁸ Faurecia (2016, 1-16 ottobre), Mondial de l'Automobile, 2016 Paris Motor Show.

²⁹ Tenneco (2021), *Global Presence*, in "tenneco.com", <https://www.tenneco.com/who-we-are/global-presence/global-locations>, 29-05-2021.

³⁰ Wholly Foreign Owned Enterprise.

³¹ Magneti Marelli (2016), *Magneti Marelli inaugura a Shanghai il suo nuovo "quartier generale" cinese*, in "magnetimarelli.com", https://www.magnetimarelli.com/it/press_room/notizie/magneti-marelli-inaugura-shanghai-il-suo-nuovo-quartier-generale-cinese, 29-05-2021.

CAPITOLO 3

I SISTEMI CATALITICI

La catalisi, dal greco *καταλύειν*, ovverosia “sciogliere, spezzare”, è il “fenomeno in cui si varia la velocità di una reazione chimica mediante l’azione di un catalizzatore”³². Il catalizzatore è una sostanza che risulta inalterata al termine della reazione e senza il cui impiego la reazione risulterebbe dispendiosa sia in termini di tempo sia in termini di energia. In altre parole, la catalisi consta nell’accelerare la reazione tra sostanze, dette reagenti, al fine di crearne di nuove. La catalisi si divide in due tipologie: catalisi omogenea e catalisi eterogenea. La prima si verifica nel caso in cui il catalizzatore ed i reagenti sono allo stesso stato della materia, per esempio allo stato gassoso: è il caso della reazione fra anidride solforosa (SO₂) e ossigeno (O₂) per la produzione di anidride solforica (SO₃), catalizzata dal monossido di azoto (NO). Si definisce invece eterogenea una reazione catalitica in cui il catalizzatore ed i reagenti sono in fasi differenti: è il caso della conversione del monossido di carbonio (CO), allo stato gassoso, in anidride carbonica (CO₂), grazie ai metalli nobili presenti nei convertitori catalitici allo stato solido.

La catalisi regola numerosi meccanismi per la produzione di beni che fanno parte della vita di tutti i giorni, di stampo alimentare e non, per esempio la birra, lo yogurt, i detersivi, i vestiti, la polpa cartaria per la stampa dei libri e delle riviste, i materiali plastici derivati dalle benzine tramite polimerizzazione, i medicinali, i profumi, i solventi e molti altri. La catalisi è coinvolta inoltre nell’industria petrolchimica, per esempio nella produzione di benzine generate tramite il metodo del *cracking*, e in processi quali la riduzione delle proprietà detonanti delle stesse benzine, tramite il metodo cosiddetto del *reforming*. La catalisi è poi fondamentale nei processi biologici che governano il corpo umano, nel momento in cui gli enzimi, molecole proteiche con elevata specificità ed efficienza, di gran lunga maggiori rispetto a quelle dei catalizzatori non biologici, catalizzano precisi tipi di reazioni chimiche, come quelli relativi alla digestione ed alla scissione degli alimenti.

I processi catalitici non coinvolgono solamente tecnologie già sviluppate ma costituiscono il propulsore di tecnologie avanguardistiche volte a migliorare il nostro stile

³² Zingarelli N. (1987) *Il Nuovo Zingarelli. Vocabolario della lingua italiana*. A cura di M. Dogliotti e L. Rosiello. 11a edizione, Bologna: Zanichelli.

di vita. Per esempio, grazie alla catalisi enzimatica è oggi possibile produrre biocombustibili, quali l'etanolo ed il butanolo, tramite l'estrazione di zuccheri ottenuti scindendo per idrolisi la cellulosa derivata dalla biomassa lignocellulosica, il materiale più facilmente reperibile sul nostro pianeta. Restando in ambito automobilistico, nuove tecnologie quali le batterie al litio sfruttate dai motori elettrici si stanno diffondendo velocemente: esse ricorrono alla catalisi per mettere in moto il veicolo velocizzando lo spostamento degli ioni di litio dal catodo all'anodo. Nella pletora di tecnologie da anni oggetto di ricerca ma non ancora in auge compaiono le celle galvaniche dei motori ad idrogeno, in cui gli elettrodi sono dotati di catalizzatori, e la tecnologia delle celle a combustibile a metanolo diretto (DMFC, *Direct Methanol Fuel Cell*), tecnologia cardine della teoria dell'*Economia al Metanolo*, teorizzata dal premio Nobel George A. Olah³³, finalizzata alla produzione di idrogeno a partire da una miscela di metanolo e acqua.

³³ George Andrew Olah (1927 – 2017), è stato un chimico ungherese naturalizzato statunitense, autore del saggio *The Methanol Economy*. Vinse il premio Nobel per la chimica nel 1994.

3.1 Le origini della catalisi

Nonostante coinvolga da vicino innumerevoli processi industriali dell'epoca contemporanea, la catalisi è un fenomeno tutt'altro che recente. Per esempio, il processo di fermentazione della frutta per mezzo del lievito, che catalizza la scissione delle molecole dello zucchero producendo etanolo, risale a tempi immemori (Alba-Lois et al. 2010). In tempi più moderni, nel XVI e XVII secolo, la catalisi iniziò ad essere impiegata per processi quali la saponificazione mediante idrolisi del grasso, l'ossidazione dell'etanolo per ottenere aceto e la disidratazione dell'etanolo per formare etere dietilico, un solvente molto comune nella chimica organica, in passato anche usato come anestetico (Kakaei et al. 2019).

Il termine “catalizzatore” fu coniato nel 1836 dal chimico svedese Jöns J. Berzelius³⁴, tuttavia la definizione scientifica fu esposta solo nel 1895 dal chimico tedesco Friedrich W. Ostwald³⁵: “[sostanza che] accelera una reazione chimica senza inficiare la posizione dell'equilibrio” (Philips et al. 2015), implicando che il catalizzatore non induce la reazione, bensì la accelera, rimanendo inalterato al termine della reazione stessa. Il concetto di catalisi come esposto da Ostwald è alla base della fruizione dei catalizzatori a livello industriale in settori che erano ancora in via di sviluppo all'inizio del XX secolo: il settore dei fertilizzanti, in particolare i fertilizzanti di ammoniaca prodotti per fissazione dell'azoto, nel cosiddetto processo Haber-Bosch³⁶, ed il settore petrolchimico, in cui il processo del *cracking*³⁷ catalitico andò a sostituire il processo del *cracking* termico allora in uso.

Nonostante le automobili a benzina esistessero già verso la fine del XIX secolo, a quel tempo non erano ancora un bene diffuso e solo le classi alte della società potevano usufruirne. Quando la domanda iniziò a crescere fu necessario trovare un metodo più rapido ed efficiente per estrarre la benzina dal petrolio greggio. Fu durante gli anni '20 del XX secolo, quando i soli Stati Uniti contavano più di 10 milioni di unità di veicoli

³⁴ Jöns Jacob Berzelius (1779 – 1848) è stato un chimico svedese. Berzelius è considerato uno dei fondatori della chimica moderna, nello specifico dell'analisi chimica.

³⁵ Friedrich Wilhelm Ostwald (1853 – 1932) è stato un chimico tedesco. Vinse il premio Nobel per la chimica nel 1909 per le sue ricerche sui principi fondamentali che governano l'equilibrio chimico e la velocità di reazione.

³⁶ Il processo Haber-Bosch aiutò a fronteggiare la carenza di cibo nata come conseguenza della crescita esponenziale della popolazione mondiale (in U.S. Bureau of Mines (1993), *Minerals Yearbook*, vol. 1, Washington: U.S. Government Printing Office).

³⁷ Con il termine *cracking* si intende la rottura delle molecole pesanti del petrolio greggio, un complesso misto di molecole di idrocarburi e atomi di idrogeno, in molecole più leggere che vanno a costituire le benzine.

(Fairbank 1944), che l'ingegnere francese Eugène Houdry³⁸ iniziò ad indagare sulla produzione catalitica di una benzina ad alto numero di ottani³⁹: Houdry ottenne il carburante a partire dalla lignite, un tipo di carbone fossile, e grazie al potere catalitico di un materiale argilloso detto “terra da follone”, un alluminosilicato naturale. Traslando la tecnologia del cosiddetto “processo Houdry”, ampiamente sfruttato durante la Seconda Guerra Mondiale per la produzione delle benzine da aviazione (Squires 1986) ed il cui principio fondamentale è tuttora alla base del *cracking* catalitico⁴⁰, l'ingegnere francese giunse a sviluppare un apparecchio che aveva come obiettivo quello di risolvere le problematiche ambientali⁴¹, causate parzialmente dalle benzine che egli stesso aveva contribuito a catalizzare anni prima: si trattava del primo convertitore catalitico moderno, brevettato nel 1956.



Figura 3: Eugène Houdry con un piccolo prototipo di convertitore catalitico

³⁸ Eugène Houdry (1892–1962) è stato un ingegnere e inventore francese, fondatore della Houdry Process Corp.

³⁹ Idrocarburo della serie del metano, C_8H_{18} ; è noto in diverse forme isomere che si presentano come liquidi incolori insolubili in acqua, solubili in molti solventi organici. [...] Il numero di o. costituisce la misura, secondo una scala convenzionale, del potere antidetonante dei carburanti, cioè della loro capacità di sopportare compressioni elevate senza detonare. (*ottano*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/enciclopedia/ottano/>, 27-04-2021)

⁴⁰ Oggi viene definito “cracking catalitico a letto fluido” (FCC, *Fluid Catalytic Cracking*).

⁴¹ Gli episodi più eclatanti di inquinamento atmosferico si verificarono a Los Angeles nel 1943 e a Londra nel 1952.

3.2 I motori a benzina

3.2.1 Il primo convertitore catalitico

Nonostante il convertitore catalitico brevettato da Houdry nel 1956 sia il convertitore più affine a quelli diffusi oggi, esso non rappresenta il primo apparecchio catalitico per la depurazione dei gas di scarico. Secondo l'AECC⁴² (Associazione per il Controllo delle Emissioni Tramite Catalizzatore), il primo convertitore catalitico per i motori ad accensione comandata, ovverosia per i motori a benzina, risale al 1909, e fu brevettato dal chimico francese Michel Frenkel (Bode 2002). Prima di tale data erano già stati progettati degli apparecchi catalitici per automobili, ma trattavasi semplicemente di prototipi.

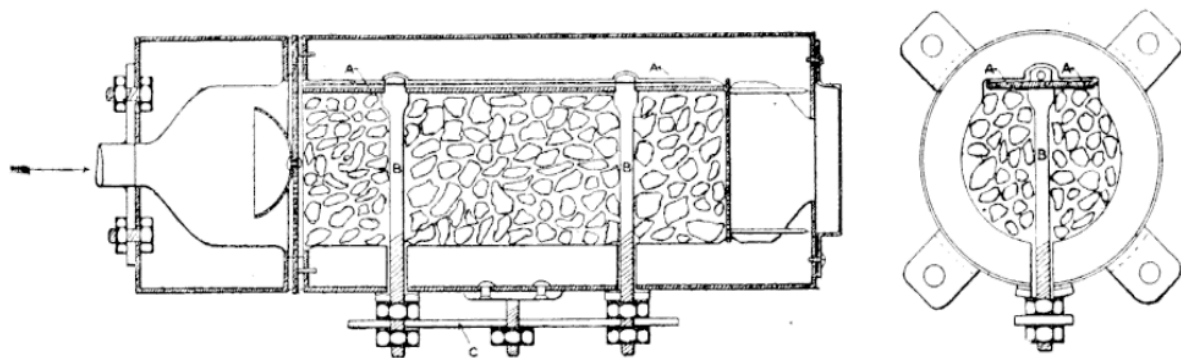


Figura 4: Prototipo di convertitore catalitico del 1898, pubblicato sulla rivista "La Locomotion automobile"

Il brevetto di Frenkel portava il titolo di "*Processo e Apparato per Deodorare i Gas di Scarico dei Motori a Esplosione*", cioè i motori a combustione interna⁴³, sottolineando come all'inizio del secolo scorso l'attenzione fosse posta principalmente sull'effetto maleodorante delle benzine, provocato in particolare dall'alto contenuto di aldeidi ed idrocarburi aromatici (Zelenka et al. 1994) ma anche da un'incompleta combustione del carburante. L'effetto inquinante non era ancora al centro dell'attenzione, essendoci un numero ridotto di mezzi di trasporto in circolazione. Il convertitore catalitico in questione era dotato di una ventola azionata dal motore, che garantiva una sufficiente presenza di ossigeno per raggiungere la

⁴² AECC è un'associazione scientifica internazionale senza scopo di lucro di aziende europee che producono tecnologie per il controllo delle emissioni di scarico dei motori, (AECC, *About AECC*, in "aecc.eu", <https://www.aecc.eu>, 27-04-2021).

⁴³ I motori a combustione interna si dividono in motori ad accensione comandata (usati nel ciclo Otto) ed in motori ad accensione spontanea (usati nel ciclo Diesel).

completa combustione dei gas di scarico, rendendoli meno maleodoranti. La ventola dirigeva i gas verso una “camera di scarico” in ghisa o lamiera, in cui erano presenti dei “tubi o superfici a zigzag, che fungevano da supporto per i catalizzatori”⁴⁴ ed andavano a formare delle scanalature circolari. Detti catalizzatori erano costituiti principalmente da rame (Cu), nichel (Ni) o platino (Pt), mentre la struttura a scanalature circolari, sostanzialmente il precursore dell’odierno monolite a nido d’ape, era costituita da una massa ceramica porosa, composta da gomma adragante⁴⁵, acqua (H₂O), cloruro di platino (PtCl₂), cloruro di ammonio (NH₄Cl) ed infine porcellana, *kaolin*⁴⁶, o in alternativa amianto in polvere. È molto probabile che il convertitore catalitico di Frenkel non fosse stato reso disponibile al pubblico, sia per l’assenza di fenomeni inquinanti significativi, sia per l’elevato costo del platino.

⁴⁴ Frenkel, M. (1909), *Process and Apparatus for Deodorizing Exhaust Gases of Explosion Engines* (GB190909364A). London, The Chartered Institute of Patent Agents.

⁴⁵ Mucillagine essudante da fenditure naturali o procurate della corteccia di varie specie di astragalo e che, essiccata in filamenti o in piastre, va sotto il nome rispettivamente di gomma di Morea o gomma di Smirne; viene usata come emolliente e come emulsionante in farmacia, nell’apprettatura dei tessuti, nella concia delle pelli. (*adragante*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/adragante/>, 27-04-2021).

⁴⁶ Roccia incoerente molto diffusa, di colore da bianco a giallo grigiastro; [...] abbondantemente diffusa in molte regioni, è materia prima per l’industria dei refrattari e per la fabbricazione di prodotti ceramici; allo stato di polvere pura, bianca, è usato come carica per la carta e in campo farmaceutico e cosmetico. (*caolino*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/caolino/>, 27-04-2021).

3.2.2 Il primo convertitore di Houdry

Poiché l'invenzione del chimico francese Frenkel non fu presa in dovuta considerazione, in quanto non ci si era ancora resi conto del potenziale deleterio dei gas di scarico prodotti dagli autoveicoli, la catalisi automobilistica si sviluppò molto più tardi rispetto alle concorrenti in campo agricolo e petrolchimico. Fu solo dopo la Seconda Guerra Mondiale che Eugène Houdry fondò la compagnia Oxy-Catalyst e brevettò il primo convertitore catalitico di stampo moderno, nel 1956.

Si trattava di un convertitore ossidante pensato per eliminare il monossido di carbonio (CO) ed i fumi maleodoranti provenienti dai gas di scarico delle automobili, ma non gli idrocarburi. Secondo Houdry il convertitore sarebbe stato in grado di sopportare a lungo temperature elevate e di resistere a fenomeni di avvelenamento (*poisoning*) e di stress termico. A differenza della maggior parte dei convertitori citati nella letteratura precedente, in cui erano presenti sostanze composte da gel porosi di ossidi di alluminio o di silicio, oppure da sostanze refrattarie, quali l'amianto, impregnate di una fase attiva di platino o argento, il convertitore in questione godeva di un substrato solido, senza funzionalità catalitica, termoresistente ed impermeabile, sul quale era depositato un *washcoat*⁴⁷. In questo caso il *washcoat*, che per definizione non doveva reagire con il substrato, era formato da un sottile strato di ossidi metallici, quali l'allumina (Al₂O₃), impregnati di un metallo catalizzante, il platino.

Mentre i substrati dei convertitori catalitici diffusi al giorno d'oggi sono caratterizzati da un alto livello di porosità, il blocco descritto da Houdry consentiva una presenza minima di pori, in modo che il catalizzatore aderisse solamente alla sua superficie più esterna, senza penetrare in profondità. Nel brevetto del 1956 il chimico francese non dà informazioni ferree sul materiale prediletto per il substrato, ma suggerisce la "porcellana impermeabile di cui sono fatte le candele di accensione, [...] che è costituita da ossidi di alluminio e di silicio derivanti da argille naturali o sintetiche, a volte con piccole tracce di selce"⁴⁸. L'idea di Houdry nasceva dalla capacità di questo materiale di varcare i 1300 °C senza danneggiarsi. Altri materiali menzionati per il supporto sono: il torio (Th), il magnesio (Mg) ed il berillio (Be). Per quanto riguarda invece i catalizzatori, Houdry sconsiglia l'uso di cobalto (Co) e

⁴⁷ Il *washcoat*, o *coating*, è il rivestimento impregnante che si deposita sul substrato e che fa da supporto ai catalizzatori.

⁴⁸ Houdry E.J., (1956), *Catalytic Structure and Composition* (US2742437). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

nicel (Ni), menzionando il loro avvelenamento causato dallo zolfo (S) presente nella benzina, ma anche l'uso di ferro (Fe), piombo (Pb), cromo (Cr) e manganese (Mn), che non sono sufficientemente ossidanti, propendendo invece per platino e rame, già citati da Frenkel, oltre a rutenio (Ru), palladio (Pd), argento (Ag) e combinazioni di argento-cromo, rame-cromo e rame-manganese. Con grande lungimiranza, il miglior abbinamento di catalizzatore e supporto in termini di resistenza fisica e termica secondo Houdry verteva su un sottile strato di allumina impregnato di piccole quantità di platino, abbinamento tutt'oggi scelto da numerose case produttrici di sistemi catalitici.

3.2.3 Il primo convertitore a due vie

Sei anni dopo la registrazione del brevetto del primo convertitore catalitico moderno, nel 1962, l'anno del suo decesso, Eugène Houdry ne depositò una versione aggiornata, pensata per le benzine aggiunte di piombo tetraetile, il quale serviva ad aumentarne il numero di ottano e ad annullare l'effetto del “battito in testa”⁴⁹ (*knocking*). Un basso numero di ottano è infatti indice di scarsa resistenza del carburante alla detonazione, cioè all'autoaccensione.

L'obiettivo del convertitore catalitico non era più unicamente l'abbattimento del monossido di carbonio (CO), ma anche degli idrocarburi (HC) e dei composti organici volatili ossigenati (*Oxygenated Volatile Organic Compounds*, O-VOC), come le aldeidi, che, nonostante comparissero in quantità minori rispetto al CO, si scoprì essere altrettanto dannosi. Si trattava dunque di un convertitore “a due vie”⁵⁰, a *pellet*⁵¹, e non monolitico come in precedenza, le cui condizioni base di funzionamento erano: “primo, la velocità lineare dei gas di scarico all'ingresso del letto catalitico deve essere mantenuta sotto certi valori limite, e secondo, la temperatura di catalisi non può eccedere certi limiti massimi per periodi di tempo prolungati”⁵².

I *pellet* di ossidi di alluminio, berillio, torio, magnesio, zinco (Zn) o zirconio (Zr), alloggiavano in un materassino intumescente con funzione di isolante, ricoperto da un involucro di metallo resistente alle alte temperature, fatto di acciaio inossidabile o di acciaio alluminato. Per garantire la completa combustione dei gas di scarico fu adottato un tubo di Venturi⁵³, che aveva una funzione simile a quella della ventola introdotta da Frenkel nel 1909, ovvero apportare una maggior affluenza di ossigeno all'interno del convertitore catalitico per favorire la conversione dei gas. Sulla linea del paragone con il convertitore di Frenkel, una differenza fondamentale figurava nella porosità della struttura di supporto: mentre il convertitore del 1909

⁴⁹ Rumore metallico trasmesso attraverso la struttura di un motore quando una porzione di miscela aria-combustibile brucia improvvisamente (*battito in testa*, in Heywood J.B. (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education).

⁵⁰ Convertitore ossidante, che permette due reazioni: l'ossidazione del CO in CO₂ e l'ossidazione degli HC in CO₂ e H₂O. Per questo è detto “a due vie”.

⁵¹ Nella tecnica, prodotto agglomerato a forma di granuli generalm. sferici [...], ottenuto mediante pelletizzazione. (*pellet*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/pellet/>, 28-04-2021).

⁵² Houdry, E.J. (1962). *Catalytic Exhaust Purifier for Engines Operating on Leaded Gasoline* (US3024593A). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

⁵³ Dispositivo per la misurazione della portata o della velocità di una corrente fluida in pressione entro tubi chiusi, costituito da un tubo orizzontale con una strozzatura, nella quale è applicato un manometro differenziale. (*venturi*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/venturi/>, 28-04-2021).

prevedeva una bassa porosità, il convertitore di Houdry era descritto da un'elevata presenza di pori, al fine di ottenere una considerevole area superficiale specifica garantendo che i gas nocivi venissero catalizzati nella loro interezza.

Per quanto concerne i catalizzatori, rispetto ai materiali già citati in merito al convertitore di Houdry del 1956, fecero la loro comparsa il rodio (Rh), che sarebbe entrato in auge nel 1976 con i convertitori a tre vie, il vanadio (V), anch'esso molto diffuso negli anni a seguire, ed il manganese. Poiché i catalizzatori di metalli nobili venivano avvelenati dal piombo presente nelle benzine, Houdry dirottò la propria attenzione verso metalli meno costosi, che godevano di un'efficacia pressoché simile a quella dei metalli nobili una volta compromessi dal piombo: l'accostamento tra supporto in *pellet* di allumina e *washcoat* di ossidi di rame e cromo divenne dunque il più virtuoso in quest'istanza; per ottenere il prodotto finale, i *pellet* di allumina dovevano essere immersi in una soluzione dei sali corrispondenti ai due ossidi citati, ovvero il nitrato di cromo idrato ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ed il nitrato di rame idrato ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), poi essiccati a 100 °C e sottoposti a cottura a 200 °C per un'ora, fino a decomporre i nitrati, così ottenendo una percentuale simile, pari circa al 2%, di cromo e rame nei singoli *pellet*.

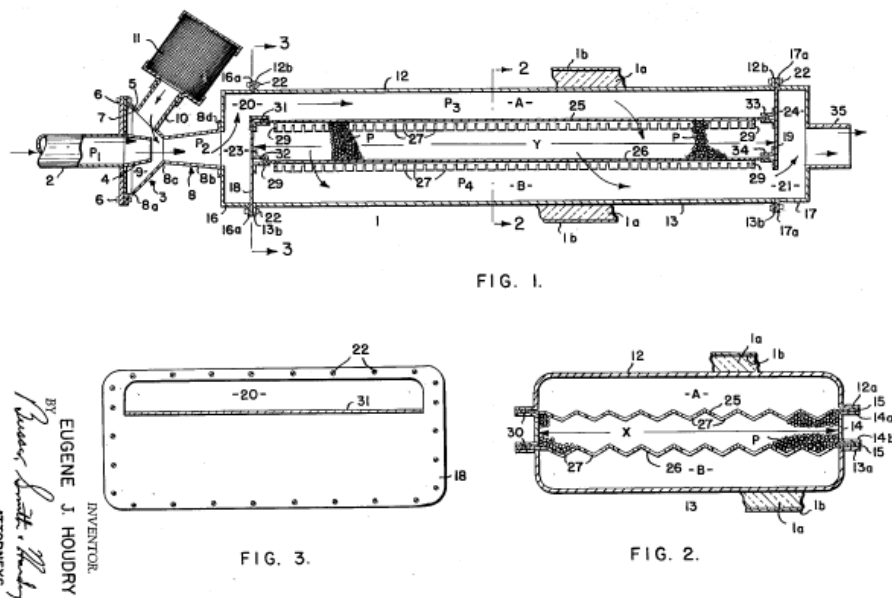


Figura 5: Il convertitore catalitico a due vie di Houdry, 1962

3.2.4 Verso la catalisi moderna

Dopo la registrazione del primo convertitore catalitico, quello di Frenkel, ed il successo dei convertitori ossidanti di Houdry, nel 1959 il governo dello stato della California emanò le prime normative antinquinamento, e verso la metà degli anni '60 la California Highway Patrol iniziò ad attuare i primi controlli su strada in merito alle emissioni dei gas di scarico delle automobili. Nel 1963 il Congresso degli Stati Uniti emanò il primo Clean Air Act, ma, solo in seguito ai cosiddetti “emendamenti Muskie⁵⁴” del 1970, furono imposte restrizioni concrete in ambito automobilistico, rendendo obbligatorio il convertitore catalitico su tutti i veicoli e spronando alla diffusione della benzina senza piombo entro il 1975⁵⁵ (Bode 2002).

Nel 1970 fu fondata l'Agencia Statunitense per la Protezione dell'Ambiente (*United States Environmental Protection Agency*, EPA), che non tardò a scontrarsi con le industrie del petrolio, del piombo e con i Big Three⁵⁶ dell'industria automobilistica. Le lobby petrolifere affermavano che il passaggio alla produzione di benzine senza piombo ad alto numero di ottano sarebbe costata loro da 2 a 8 miliardi di dollari. L'industria siderurgica del piombo, che vedeva incrinati i propri interessi, e che aveva avuto il monopolio sulla ricerca scientifica in merito alla tossicologia del piombo fino agli anni '60, sosteneva che i livelli del metallo nel sangue delle persone che vivevano nelle zone con maggior densità di mezzi di trasporto non fossero superiori alla media. Tuttavia, questa teoria fu presto smentita quando valori pari a 0.25 ppm, 100 volte maggiori rispetto ai valori normali, furono riscontrati dai ricercatori nella popolazione alla fine degli anni '60 (McCarthy 2007). Infine, secondo le case automobilistiche, la tecnologia catalitica non era ancora pronta per conseguire emissioni basse come quelle richieste dall'EPA.

Un ruolo fondamentale in questo fervido dibattito fu rivestito da Ed Cole, amministratore delegato della General Motors (GM) dal 1968 al 1974, che si pose come intermediario tra le case automobilistiche, l'industria petrolifera e l'EPA. Cole accettò di

⁵⁴ Edmund S. Muskie (1914 – 1996) fu Senatore Democratico del Maine durante gli anni '50, quando iniziò ad avvicinarsi alla questione ambientale per far fronte all'inquinamento fluviale, che affliggeva lo stato su cui governava.

⁵⁵ Eliminare il piombo dalla benzina avrebbe permesso di rimuovere anche gli additivi alogenati, quali gli alcani bromurati e clorurati, che avevano funzione di *scavenger* (sostanze che rimuovono impurità indesiderate nei prodotti di una reazione) dei radicali del piombo, impiegati perché il piombo non si depositasse sulle valvole e sulle candele. Tali additivi partecipavano alla produzione delle policlorodibenzodiossine (PCDD) e dei policlorodibenzofurani (PCDF), sostanze altamente inquinanti, riscontrate anche nei fumi dei forni di incenerimento dei rifiuti urbani.

⁵⁶ Chrysler, General Motors e Ford.

dotare i propri veicoli di convertitori catalitici ma per fare ciò richiese una stretta sui carburanti con piombo⁵⁷, che se utilizzati avrebbero reso inutile un investimento così ingente provocando l'avvelenamento dei catalizzatori: dotando i veicoli di convertitore il costo per veicolo nel 1975 sarebbe infatti aumentato di 165\$ (McCarthy 2007), corrispondenti attualmente a più di 800\$. All'epoca solo un'azienda, la Amoco (Standard Oil of Indiana), commerciava benzina senza piombo negli Stati Uniti. Dopo aver convinto il CEO di un'altra azienda, la Union Oil Company della California, Fred Hartley, ad aderire alla produzione di benzina senza piombo, Cole cercò un accordo con l'EPA, spiegando che le case automobilistiche avrebbero avuto bisogno di altri 10 anni, fino al 1980, per riuscire a soddisfare le nuove regolamentazioni ambientali. L'Agenzia, che era in contatto con l'azienda di sistemi catalitici Engelhard ed era dunque a conoscenza della situazione della tecnologia catalitica in tempo reale, rispose che avrebbe concesso agli Stati, fatta l'eccezione della California, di conformarsi entro il 1975 solo parzialmente alle nuove leggi, che prevedevano una riduzione delle emissioni del 90%, ossidi di azoto (NO_x) inclusi (McCarthy 2007). Questa decisione suscitò un profondo malcontento tra i Big Three, che ritenevano non fosse stato concesso loro tempo a sufficienza⁵⁸. Tuttavia, le case automobilistiche iniziarono ad investire cifre consistenti nella R&D in materia di catalisi ambientale e riuscirono a dotare di convertitore catalitico, principalmente il convertitore brevettato dalla Engelhard nel 1973, l'85% dei veicoli registrati nel 1975. Dal 1971, inoltre, numerose aziende petrolifere avevano iniziato a mettere in commercio la benzina senza piombo a 91 ottani, anche se si sarebbero dovuti attendere ancora molti anni, più di venti, perché le benzine "piombate" venissero rimosse dal mercato.



Figura 6: Il presidente Lyndon B. Johnson firma il Clean Air Act il 17 dicembre 1963, alla Casa Bianca. Dietro di lui, a sinistra, il senatore Edmund Muskie

⁵⁷ La GM stessa aveva svolto un ruolo chiave nell'aggiunta del piombo tetraetile alla benzina negli anni '20.

⁵⁸ Il convertitore catalitico a tre vie, che consentiva di convertire la quasi totalità degli ossidi di azoto, non era ancora stato inventato.

3.2.5 I convertitori ossidanti Engelhard

Nonostante prima del 1975 i controlli sulle emissioni fossero stati rispettati senza ricorrere ai convertitori catalitici, per esempio ricorrendo ad un aumento dell'aria nello scarico tramite un sistema di aspirazione, o apportando modifiche meccaniche al collettore di aspirazione, all'albero a camme, allo spinterogeno, alla camera di combustione o al carburatore (Brubacher et al. 1969), ci si rese ben presto conto che questi aggiustamenti causavano un aumento dei consumi e riducevano le prestazioni dei veicoli (Bode 2002). Per di più tali aggiustamenti non erano sufficienti per sopperire all'eccessiva concentrazione di gas nocivi nell'atmosfera. Nel 1965 l'ingegnere americano Carl D. Keith, della Engelhard Corporation, mise a punto il primo convertitore catalitico dotato del monolite a nido d'ape di cui sono dotati i convertitori odierni. Keith aggiornò il convertitore nel 1971 insieme al collega John J. Mooney, con una piccola modifica che risolveva un problema di stabilità del monolite all'interno dell'involucro metallico, estendendone l'uso a tutti i veicoli. Il convertitore del 1965 infatti era stato pensato per i carrelli elevatori e tutti i mezzi di trasporto impiegati in luoghi chiusi, dove le concentrazioni di CO erano percepite esponenzialmente. La versione aggiornata fu approvata dall'EPA nel 1973, quando la polizia di Newark fu invitata ad analizzare le emissioni di un'auto, una Ford Torino, dotata del convertitore Engelhard, sotto richiesta degli ingegneri della stessa casa di sistemi catalitici (McCarthy 2007).

Il convertitore era composto principalmente da un cilindro ceramico, da un *washcoat* poroso e da metalli con funzione catalitica. Il cilindro ceramico, poroso e inerte, era fatto di zircono⁵⁹ e mullite⁶⁰, o in alternativa di α -allumina, ossidi di alluminio, silicio e magnesio o di silicati di zirconio, tutti materiali ceramici cristallini refrattari, in grado di mantenere la propria forma ad alte temperature. Dei fogli di cellulosa, di acetato, nylon o pellicola di polietilene venivano ricoperti da una sospensione di un materiale ceramico polverizzato e di un legante organico, quale

⁵⁹ Minerale, silicato di zirconio, con lucentezza adamantina; può essere incolore oppure colorato (verdognolo, rosso-bruno, arancio diverse tonalità di giallo ecc.). È un comune minerale accessorio di rocce magmatiche, specie acide, e di molte rocce metamorfiche (*zircono*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/zircono/>, 01-05-2021)

⁶⁰ Minerale, silicato di alluminio. [...] Più comunemente si indica con il nome di mullite il composto $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, stabile a elevate temperature, che si ottiene a partire da una miscelazione di argilla e allumina tramite trattamento termico a circa 1500 °C (mullitizzazione) effettuato generalmente in forno elettrico; è il costituente della fase cristallina di gran parte dei prodotti ceramici ottenuti da composti argillosi. (*mullite*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/mullite/>, 01-05-2021).

la gomma arabica, colofonia, resine acriliche, metacriliche, alchiliche o fenoliche, o paraffina clorurata. Metà di tali fogli venivano dunque corrugati, ed associati ai fogli non corrugati a formare una struttura monolitica con canali trapezoidali, rettangolari, quadrati, circolari o sinusoidali. Il *washcoat* invece era fatto di γ -allumina (γ -Al₂O₃), impregnata della sostanza catalizzante: platino, rodio, palladio, iridio oppure ossidi di cromo, manganese, ossidi di vanadio, rame, ferro, cobalto o nichel. L'involucro metallico esterno ed il cilindro ceramico erano stati progettati in modo da lasciare un'intercapedine da riempire con un'intelaiatura di maglia metallica corrugata, molto più flessibile, resistente ed aderente rispetto alla lamina metallica, e finalizzata ad assorbire gli urti ed a compensare la differenza di dilatazione termica tra ceramica e metallo. Infine, una termocoppia di Chromel – Alumel, due leghe del nichel, risultava inserita sulla bocchetta d'uscita del convertitore, per segnalare in tempo reale se il motore stesse operando in condizioni di miscela magra (*lean mode*) o grassa (*rich mode*). Si trattava dell'antenato diretto della sonda lambda, che sarebbe nata in concomitanza con il successivo convertitore catalitico della Engelhard, il convertitore a tre vie.

Alcuni metalli di cui era impregnato il supporto di γ -allumina, quali il cromo, il rame, il nichel ed il manganese, i cosiddetti “metalli vili” erano meno attivi dei metalli del gruppo del platino, ma di gran lunga più convenienti dal punto di vista economico e della reperibilità (Heck et al. 2009). Se si fosse deciso di impiegare solo metalli vili per rispettare le nuove normative ambientali, se ne sarebbero dovute adoperare quantità ingenti, e si sarebbe venuto a creare un problema di spazio nel sottoscoeca dei veicoli. Mentre il platino risultava essere, per esempio, più attivo del rame e del ferro nella conversione dell'etilene (C₂H₄), il palladio catalizzava molto più CO del cromo e più etano (C₂H₆) del nichel (Kummer 1975). Date le sue proprietà e la sua scarsità, nel 1975 il platino costava più dell'equivalente di 700\$ odierni per oncia troy⁶¹, ovvero 23\$ al grammo, ma grazie alle sue proprietà altamente catalizzanti aveva fatto la sua comparsa già negli anni '50 nei convertitori catalitici e sarebbe diventato una costante dagli anni '70 in avanti: basti pensare che la Impala Platinum, azienda sudafricana che iniziò ad esportare il platino negli Stati Uniti a partire dal 1974, avrebbe fornito più di 12 tonnellate annue alla sola GM (McCarthy 2007).

⁶¹ Un oncia troy equivale a 31 grammi circa.

3.2.6 Il convertitore a tre vie

Durante gli anni '70 numerosi furono i tentativi di soddisfare le nuove limitazioni imposte dall'EPA e dal Congresso Federale degli USA. La sfida più grande consisteva nello smaltimento del 90% degli NO_x e nel sincronizzare la loro conversione con quella degli HC e del CO. I primi dispositivi che si proponevano di eseguire la riduzione degli NO_x erano in realtà dei dispositivi a sé stanti, affiancati ai convertitori ossidanti sviluppati in precedenza. Questa formula prendeva il nome di “sistema catalitico doppio”. In seguito, furono sviluppati i “convertitori a doppio letto catalitico” in cui lo strato riducente e lo strato ossidante erano racchiusi nello stesso involucro e separati da una camera d'aria, detta “plenum”, e in cui prima venivano ridotti gli NO_x e poi venivano ossidati gli HC ed il CO (Taylor 1984).

Il convertitore catalitico a tre vie (*Three Way Catalyst*, TWC), un unico dispositivo in cui le tre reazioni di cui sopra avvenivano con efficienza in contemporanea, avrebbe segnato la storia della catalisi automobilistica. Fu sviluppato in contemporanea dalla Engelhard negli Stati Uniti e dalla Johnson Matthey (JM) in Inghilterra. Il TWC della prima compagnia, i cui inventori Carl Keith e John Mooney sono considerati i padri della catalisi automobilistica moderna⁶², fu messo in commercio per la prima volta su una Volvo 244 del 1977 (McCarthy 2007), e vinse il “Premio del Decennio” (*Award of the Decade*) delle Nazioni Unite nel 1982⁶³. Il TWC della JM, cui fu assegnato il premio MacRobert⁶⁴ per l'innovazione tecnologica nel 1980 (Harrison et al. 1981), fu invece adottato dalla Chrysler per il modello Avenger del 1976 (Church et al. 1989). Oltre a Chrysler e Volvo, le prime case automobilistiche che rispettarono i rigidi parametri ambientali del 1975, adottando il TWC per i loro modelli venduti in California, furono Saab, Ford e GM, ma entro gli anni '80 tutte le case negli Stati Uniti avrebbero dotato i propri veicoli di tale dispositivo (Dexter 1979), non solo per ragione delle nuove regolamentazioni ma anche per una promessa di miglior autonomia di carburante e migliori prestazioni rispetto alle tecnologie esistenti. Il convertitore TWC iniziò a diffondersi anche in

⁶² Glenn R. (2020) “John Mooney, a father of the catalytic converter, dies at 90”, *The Washington Post*: https://www.washingtonpost.com/local/obituaries/john-mooney-a-father-of-the-catalytic-converter-dies-at-90/2020/06/26/afbd87da-b7b4-11ea-aca5-cbb63d27e1ff_story.html (04-05-2021).

⁶³ Announcements (1982), *Nature*, 300, 201-202.

⁶⁴ Il MacRobert Award è il premio nazionale più longevo e prestigioso del Regno Unito per l'innovazione ingegneristica.

Europa nella seconda metà degli anni '80 in paesi come la Germania, la Svizzera e la Svezia (Bauner 2007).

Il convertitore JM⁶⁵ ed il convertitore Engelhard⁶⁶, progettati rispettivamente nel 1972 e nel 1975, possedevano caratteristiche simili. Entrambi i dispositivi derivavano da versioni che necessitavano dell'aggiunta di un gas riducente (e.g. H₂, CO), cioè un gas che inducesse la riduzione degli NO_x, e quindi potevano operare solamente in condizioni di miscela grassa, portando ad un aumento dei consumi e producendo maggiori quantità di HC e CO incombusti⁶⁷. Erano infatti state concepite per i sistemi di evacuazione degli impianti di acido nitrico⁶⁸, che a loro volta rilasciavano NO_x nell'atmosfera. Le versioni aggiornate, risalenti alla metà degli anni '70, furono invece sviluppate in ottica automobilistica, ed erano composte da una sezione dedicata all'ossidazione degli HC e del CO ed un'altra dedicata alla riduzione degli NO_x.

I convertitori in questione, ai tempi definiti “polifunzionali”, erano convertitori monolitici: nonostante i convertitori a *pellet* fossero ancora molto diffusi, gli sbalzi di pressione che si verificavano al loro interno e le alte temperature causavano attrito tra i granuli, portando alla loro corrosione e dunque alla perdita di materiale catalitico (Acres et al. 1976). Uno dei materiali proposti dalla JM per il substrato monolitico era il Torvex® della DuPont de Nemours⁶⁹, un materiale inerte composto di strati ceramici di allumina, che tuttavia non era particolarmente resistente allo stress termico. Monoliti migliori da questo punto di vista, citati anche nei brevetti Engelhard, sono quelli composti da ceramiche di zircone-mullite e di cordierite, materiale, quest'ultimo, che si sarebbe diffuso ampiamente grazie all'azienda statunitense Corning Glass Works.

⁶⁵ Acres, G. J. K., & Cooper, B. J. (1976) *Catalyst* (US3951860). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

⁶⁶ Thompson, C. E., Mooney, J. J., Keith, C. D., & Mannion, W. A. (1979) *Polyfunctional catalysts* (US4157316) Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

⁶⁷ Ibid.

⁶⁸ Il più importante degli acidi derivati dall'azoto, detto anticamente acqua forte o spirito di nitro. Ha formula HNO₃. [...] L'acido n. è uno degli acidi di maggior consumo: si usa nella preparazione di esplosivi, di fertilizzanti, di coloranti organici artificiali e di numerosissimi composti organici, impiegati per preparare prodotti farmaceutici, profumi. Il catalizzatore [impiegato negli impianti di produzione dell'HNO₃] è costituito da una rete di fili di platino cui si aggiungono piccole percentuali di rodio e osmio. (*nitrico, acido*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/enciclopedia/acido-nitrico/>, 04-05-2021)

⁶⁹ Società americana che si occupa principalmente di biotecnologia e della produzione di prodotti chimici e farmaceutici. L'azienda fu fondata nel Delaware nel 1802 per produrre polvere da sparo e successivamente altri esplosivi, che rimasero i prodotti principali dell'azienda fino al XX secolo, quando iniziò a produrre anche molti altri prodotti chimici.

La fase attiva, cioè la componente catalitica, era costituita dai metalli nobili, i metalli del gruppo del platino (*Platinum Group Metals*, PGM), per lo meno dal platino, con funzione ossidante, e dal rodio, con funzione riducente, ed eventualmente da rutenio ed iridio, nonché da una quantità maggiore di ossidi dei metalli vili con numero atomico dal 25 al 28, cioè cobalto, nichel, ferro, manganese. La proporzione in peso tra il platino e l'insieme di rodio, rutenio ed iridio doveva attestarsi tra 2:1 e 5:1. Più era alta la proporzione, maggiore sarebbe stata la quantità di ossidi di metalli vili necessaria. La vera novità in materia di catalizzatori era il rodio, presente in quantità ancora minori del platino, circa un ventesimo, nelle miniere del Sudafrica, e per questo dal valore altissimo, sia economico, sia funzionale, in quanto senza questo materiale non si sarebbe riusciti ad eliminare i composti tossici dell'azoto. Il Pt ed il Pd, infatti, a differenza del Rh, convertivano gli NO_x in ammoniaca (NH₃), un composto dannoso, e non in azoto molecolare (N₂).

La funzione di rivestimento di supporto (*washcoat*) spettava ad una combinazione di γ -allumina (γ -Al₂O₃) e ossidi di cerio (CeO₂). Tale supporto godeva di un'altissima area BET⁷⁰, superiore a 20 m²/g; senza tale supporto la superficie del monolite sarebbe stata molto più limitata, riducendosi a 0.2 - 2 m²/g. Per preparare il supporto attivo, si procedeva mischiando una soluzione acquosa di metalli vili, e.g. nitrato di nickel, con la polvere di allumina, per poi procedere con l'essiccazione ad alte temperature. In seguito, si poteva procedere con la deposizione dei PGM sul supporto, usando un gas quale l'acido solfidrico (H₂S), o un liquido, per esempio l'acido acetico (CH₃COOH). Il composto di allumina, metalli vili e PGM poteva dunque essere macinato tramite mulino a sfere⁷¹ (*ball-milling*). Il *washcoat* sarebbe poi stato deposto sul monolite e calcinato⁷² ad alte temperature, tra i 500 e gli 800 °C.

⁷⁰ L'equazione BET (Brunauer–Emmett–Teller) viene utilizzata per determinare l'area superficiale dei solidi in base alla loro capacità di adsorbimento dell'azoto, tuttavia l'equazione viene utilizzata anche per altri gas e vapori. L'area superficiale BET è descritta come l'area della superficie esterna di un oggetto solido, includendo la sua superficie porosa. (in “Naderi, M. (2015). Surface Area: Brunauer–Emmett–Teller (BET). In *Progress in filtration and separation*, 592, Academic Press”)

⁷¹ [Macchinario] nel quale la macinazione è effettuata da sfere di metallo o da pietre levigate, contenute, assieme al materiale da macinare, in un cilindro, ad asse orizzontale, rotante a velocità tale che le palle vengano trascinate dalle pareti del cilindro fino a una certa altezza per poi ricadere sul materiale macinandolo per urto. (*mulino a palle*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/mulino2/>, 05-05-2021)

⁷² In chimica, riscaldamento di una sostanza solida a temperatura più o meno elevata per eliminare acqua di combinazione o parti volatili, decomporre i bicarbonati, i carbonati ecc. (*calcinazione*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/enciclopedia/calcinazione>, 19-05-2021)

Uno degli obiettivi prefissati dalle aziende produttrici dei TWC era la risoluzione di un problema che aveva colpito i dispositivi catalitici progettati fino a quel momento: rimuovere CO, HC e NO_x dai gas di scarico, senza produrre acido solfidrico (H₂S), anidride solforica (SO₃) o acido solforico (H₂SO₄), sostanze nocive dovute alla presenza di zolfo nelle benzine. Lo zolfo sarebbe stato limitato solo negli anni '90, ed è ancora presente nei carburanti di molti paesi in via di sviluppo. Per ovviare a questa complicità, e per garantire che le tre reazioni, ossidanti e riducente, avvenissero in contemporanea, i TWC dovevano essere dotati di: un sistema di iniezione elettronica (EFI, *Electronic Fuel Injection*), un sensore di ossigeno ed un microprocessore, che sarebbero stati disponibili sui veicoli dagli anni '80 (Guillén-Hurtado et al. 2012).

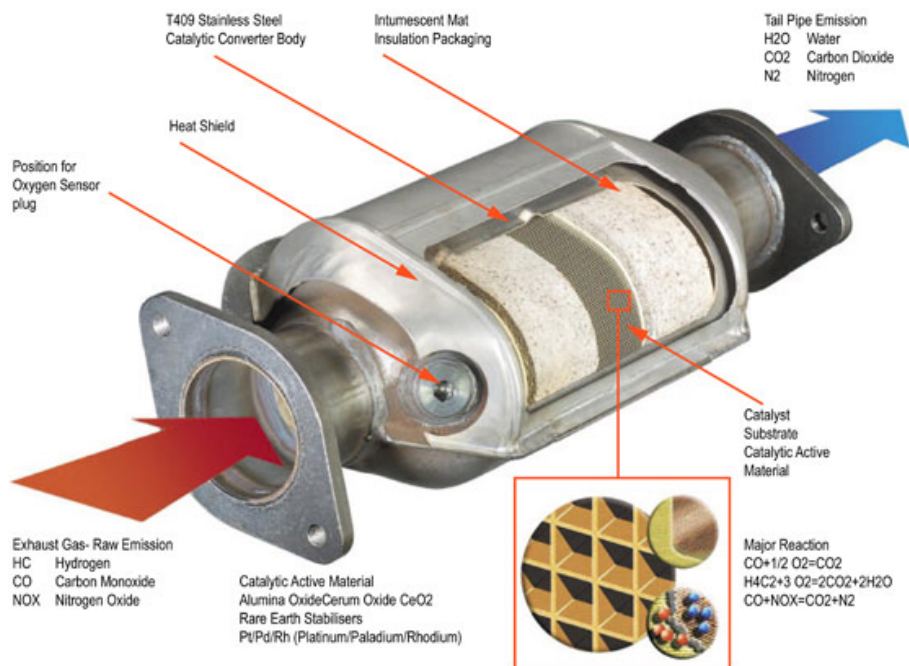


Figura 7: Esempio di convertitore TWC

3.2.6.1 Dall'EGR alla sonda lambda

In seguito all'emanazione del Clean Air Act, specie gli emendamenti del 1970, si iniziò ad affrontare la questione degli ossidi di azoto (NO_x), cioè NO , NO_2 , ed N_2O , per i quali non erano ancora presenti tecnologie mirate. Questi ossidi sono il prodotto della reazione tra azoto (N_2) e ossigeno (O_2) sopra i $1500\text{ }^\circ\text{C}$, cioè della fissazione dell' N_2 , nel momento in cui le gocce di combustibile bruciano per diffusione all'interno del cilindro. I primi anni, quando gli unici convertitori esistenti erano "a due vie", cioè trattavano solamente gli HC ed il CO, si dovette fare ricorso alla tecnologia di ricircolo dei gas esausti (*Exhaust Gas Recirculation*, EGR), che fu impiegata fino al 1977, quando la società di Stoccarda Robert Bosch mise a punto la sonda lambda per uso automobilistico.

La tecnologia EGR consiste in un sistema meccanico, non catalitico, che devia tramite una valvola i gas di scarico combusti ricchi di H_2O , CO_2 e N_2 , nuovamente verso il carburatore e la camera di combustione, dove vengono miscelati insieme all'aria fresca prelevata dall'esterno e quindi insieme alla nuova miscela aria-combustibile. Questo processo porta all'abbassamento della temperatura adiabatica di fiamma⁷³, cioè della temperatura massima raggiunta nello scarico, all'aumento della capacità termica⁷⁴ ed alla riduzione della concentrazione di O_2 (Farrauto et al. 2019). Gli NO_x si formano principalmente in condizioni di miscela magra, cioè in presenza di grandi quantità di O_2 e, come teorizzato dal fisico russo Zeldovich (*meccanismo Zeldovich*), di un'alta temperatura adiabatica, perciò l'EGR consente di ridurre parzialmente le emissioni di questi gas (Heck 2009). Visto che l'assenza di O_2 indotta dal sistema EGR avrebbe ostacolato l'ossidazione degli HC e del CO, si fece ricorso ad un sistema di aspirazione secondario posto nello scarico, in modo che le reazioni ossidanti avvenissero in condizioni magre, e che la reazione riducente, non soggetta all'aria secondaria, avvenisse in condizioni grasse.

Questa tecnologia si rivelò presto insufficiente per soddisfare le nuove normative antinquinamento e la soluzione fu presto riscontrata nel valore λ , le cui radici risalgono all'equazione teorizzata dal chimico tedesco Walther Nernst nel

⁷³ La temperatura adiabatica di fiamma (AFT) è definita come la temperatura raggiunta quando tutto il calore rilasciato da una reazione chimica ha riscaldato i prodotti della combustione. (in "Liu et al. (2011), Oxy-fuel heat transfer characteristics and impacts on boiler design. In Zheng, L. (a cura di), *Oxy-Fuel Combustion for Power Generation and Carbon Dioxide (CO₂) Capture*, Elsevier, 166-194.")

⁷⁴ Per un dato corpo (omogeneo), la quantità di calore necessaria ad elevare di un grado centigrado la sua temperatura: corrisponde al prodotto della massa del corpo per il suo calore specifico. (*capacità termica*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/capacita/>, 19-05-2021)

1899: l'equazione di Nernst⁷⁵. Sulla base delle relazioni termodinamiche espresse dall'equazione di Nernst, nel 1968 l'azienda tedesca Bosch progettò un sensore di ossigeno, che prese il nome di “sonda lambda”, destinato inizialmente alla misurazione del contenuto di O₂ nelle fonderie del piombo che producevano batterie. Con grande lungimiranza, la Bosch cavalcò l'onda delle riforme ambientali avviate dall'EPA, adattando il nuovo dispositivo al contesto della catalisi automobilistica. Nonostante alcuni fallimenti iniziali, dovuti a complicazioni di stampo termico, che disattivavano la sonda dopo poche ore di utilizzo, nel 1977 l'azienda tedesca collaudò, con la collaborazione dell'ingegnere Stephen Wallman della Volvo (McCarthy 2007), un sensore in grado di monitorare i livelli di O₂ nello scarico delle automobili per tempi prolungati: era collocato appena prima del convertitore nel collettore di scarico e si componeva di un sistema elettrolitico solido che funzionava grazie a due elettrodi di platino, uno posto nello scarico, e l'altro posto in modo che captasse l'aria esterna al veicolo, e ad una membrana di ossidi di zirconio stabilizzati con ittrio (Y). La sonda lambda fu testata per la prima volta sulle serie 240/260 della casa svedese⁷⁶, le stesse su cui furono posati i primi TWC Engelhard, ed ebbe un successo tale da essere ampiamente lodata nelle dichiarazioni dell'agenzia ambientale statunitense CARB.

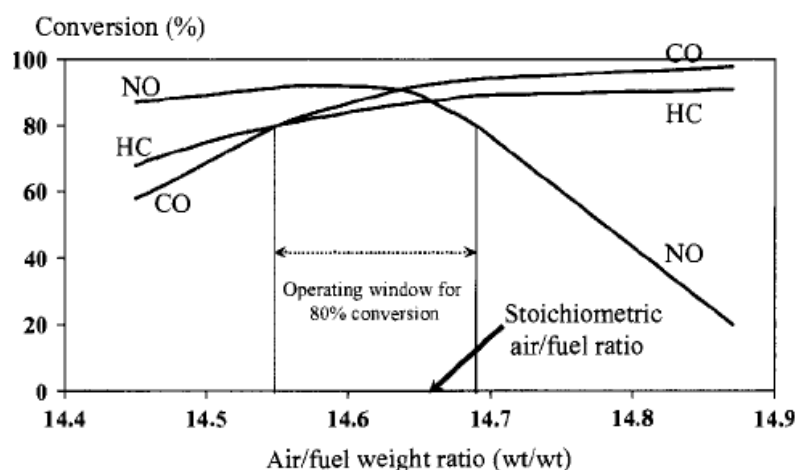


Figura 8: conversione simultanea di HC, CO e NOx nel TWC in funzione di A/F

⁷⁵ Equazione che esprime la dipendenza della forza elettromotrice di una cella elettrochimica dalle attività termodinamiche dei composti coinvolti nella reazione di ossidoriduzione responsabile del suo funzionamento. [...] L'equazione di Nernst e le sue varianti valide per sistemi elettrochimici più complessi sono alla base di molti dispositivi analitici usati per misurare valori di attività, concentrazione, pressione parziale di sostanze in vari sistemi applicativi (per es., misura del pH in soluzioni acquose, misure di ossigeno in miscele aria/combustibile, misure di concentrazione di ioni metallici in sistemi biologici). (equazione di Nernst, in “Enciclopedia della Scienza e della Tecnica”, in https://www.treccani.it/enciclopedia/equazione-di-nernst_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, 05-05-2021)

⁷⁶ Kuhlitz D., *Sensing the adequate mixture – the Bosch Lambda Sensor*, in “bosch.com”, <https://www.bosch.com/stories/40-years-of-bosch-lambda-sensor/>, 15-05-2021.

Il connubio TWC - sonda lambda dava vita ad un sistema a circuito chiuso tanto sofisticato quanto efficiente⁷⁷. Per svolgere la propria funzione trivalente il TWC doveva operare in condizioni ben precise, corrispondenti al valore stechiometrico del rapporto aria-combustibile (*air to fuel*, A/F). Questo valore equivale a 14.6 ed indica il rapporto tra il peso di aria ed il peso di combustibile a cui avviene la completa combustione del carburante, ovverosia 14.6 parti di O₂ per ogni parte di carburante. Il valore λ esprime il rapporto tra l'A/F reale, a cui avviene la combustione nel veicolo preso in analisi, e l'A/F ideale, o stechiometrico, pari a 14.6, quindi se la combustione reale avviene al valore stechiometrico, λ sarà uguale a 1, poiché si avrà 14.6 sia a numeratore sia a denominatore. Questo è il valore a cui si deve attestare λ per garantire il corretto funzionamento del TWC, in quanto se $\lambda = 1$ la conversione del 90% di HC, CO e NO_x per mezzo dei catalizzatori di metalli nobili avverrà in contemporanea. Se il motore opera in condizioni di miscela magra (*lean*), tipiche dei motori diesel, cioè con $\lambda > 1$, le emissioni di HC e CO saranno minori, mentre gli NO_x prodotti saranno maggiori. Se invece il motore opera in condizioni di miscela grassa (*rich*), tipica dei motori a benzina, cioè con $\lambda < 1$, le emissioni di HC e CO saranno maggiori, mentre gli NO_x saranno prodotti in minor quantità.

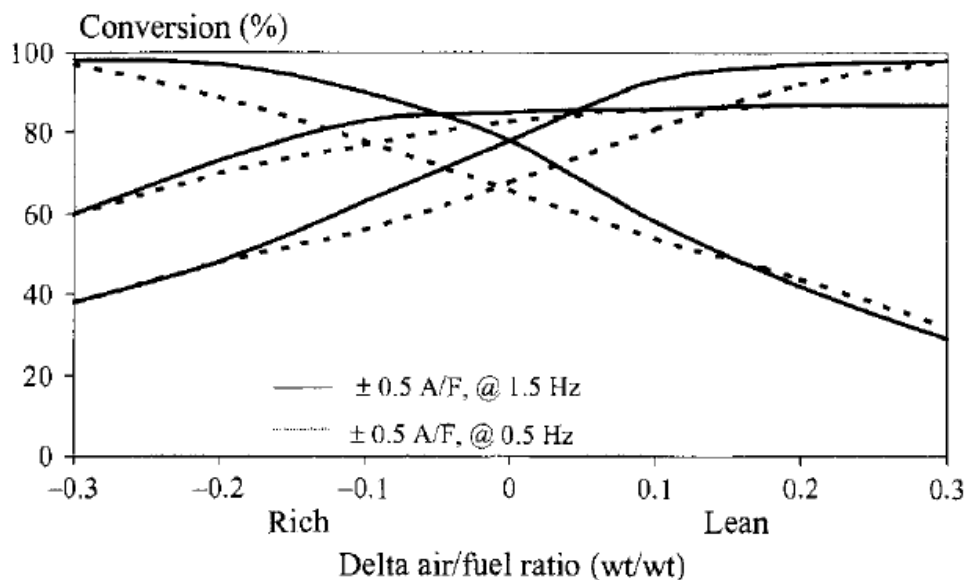


Figura 9: Aumentare la frequenza delle oscillazioni di A/F giova al funzionamento del TWC

⁷⁷ Prima dell'introduzione dei sensori di ossigeno e dei sistemi di controllo di retroazione (*feedback system*) si parlava di "sistema a circuito aperto".

Nel caso in cui l'ambiente dello scarico sia ricco o magro rispetto al valore stechiometrico, l'elettrodo interno della sonda lambda percepirà rispettivamente una carenza o un eccesso di O_2 , inviando un segnale elettrico alla centralina ed al sistema di iniezione, che regolano l'immissione di carburante e aria all'interno della camera di combustione. Il segnale elettrico, espresso in millivolt, dipende dalla quantità di O_2 percepita ed è rappresentato dall'equazione di Nernst. Se l'ambiente è *lean*, viene inviata una quantità maggiore di carburante per compensare l'eccesso di O_2 , mentre se l'ambiente è *rich*, viene inviato più O_2 per convertire i CO e HC incombusti. Nel lasso di tempo che intercorre tra un segnale elettrico "ossidante" ed un segnale elettrico "riducente", e viceversa, si possono verificare delle situazioni di leggera divergenza dal rapporto 14.6:1. Durante questi eccessi o difetti di O_2 entra in gioco la proprietà OSC (*Oxygen Storage Capacity*), cioè la funzione redox di intrappolare o rilasciare l' O_2 , di alcune sostanze che vengono appositamente immerse nel *washcoat*. Per analizzare l'oscillazione dell'A/F si può usare un dinamometro. L'ampiezza rappresenta la divergenza da A/F, che, per garantire una buona performance, non deve superare 0.5 A/F, mentre la frequenza indica la velocità di reazione della sonda e dev'essere maggiore di 1.5 Hz. Di conseguenza se l'ampiezza è ridotta e la frequenza è maggiore, si avranno condizioni ottimali per la completa conversione di HC, CO e NO_x in un TWC.

3.2.7 I convertitori catalitici al palladio e al rodio

Verso la fine degli anni '80 entrò in vigore negli USA la prima omologazione ambientale moderna, il cosiddetto "Tier 0" del 1987, e si tornò ad analizzare il tema ambientale della qualità dei carburanti: i *Big Three* e ben quattordici aziende petrolifere si riunirono per fondare l'Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program, un progetto di ricerca che durò sei anni in merito alla qualità dei carburanti allora in commercio. Ne risultarono alcune decisioni, tra cui la riduzione dello zolfo nella benzina, che, insieme alle limitazioni imposte sulla benzina "piombata" in numerosi paesi, tra cui l'Italia nel 1992, fu il primo di una serie di nuovi provvedimenti che avrebbero portato alla stipula del cosiddetto Protocollo di Kyoto firmato da 160 paesi nel dicembre del 1997.

Il miglioramento della qualità del carburante e la necessità di produrre dispositivi catalitici altamente tecnologici con il maggior risparmio possibile portarono allo sviluppo di convertitori TWC in cui il Pt e/o il Rh venivano sostituiti dal Pd. Il Pd era infatti, all'inizio degli anni '90, il più economico dei tre metalli nobili (Brisley et al. 1995), e vista la presenza sempre maggiore di benzina senza piombo, il quale portava all'avvelenamento del Pd più rapidamente rispetto all'avvelenamento del Pt, si poté iniziare ad approfondire la funzione di questo metallo nei convertitori catalitici. Il Pd era inoltre più resistente allo zolfo, le cui limitazioni erano ancora agli inizi, rispetto agli altri metalli (Heck et al. 2009), e si rivelò particolarmente adatto agli ambienti altamente ossidanti tipici dei nuovi motori di fine anni '80 – inizio anni '90, per i quali era stata messa a punto una strategia di risparmio carburante: nelle fasi di decelerazione infatti il flusso di carburante veniva interrotto, aumentando nettamente la dose di O₂ presente nello scarico (Heck et al. 2009).

La prima azienda automobilistica a mettere in commercio il *Pd-only TWC* fu l'americana Ford, sui modelli del 1995, grazie alla collaborazione con le aziende di convertitori JM e Engelhard (Hepburn et al. 1994). Il dispositivo era posto in posizione *close-coupled*, cioè vicino al collettore di scarico, per ovviare al problema della mancata attivazione (*light-off*) del convertitore sotto i 200-250 °C (Farrauto et al. 2019) e la sua funzione principale consisteva nell'abbattimento dei livelli di HC (Heck et al. 2009). Ubicando il dispositivo in prossimità del motore, esso si sarebbe attivato entro pochi secondi, limitando le emissioni di gas a freddo. Il *Pd-only TWC* era spesso utilizzato in abbinamento ad un altro TWC di Pt-Pd-Rh posto a valle, nel sottoscocca, dove era più probabile che confluissero i residui del piombo presente nei carburanti (Brisley et al 1995).

L'impiego di Pd senza Pt e Rh fu possibile solo grazie all'accostamento del metallo in questione a metalli con funzione OSC, per esempio il cerio, ed a metalli alcalini con ossidi di terre rare (Hepburn et al. 1994) oppure grazie all'abbinamento con bario (Ba) e lantanio (La): lo scopo di queste tecnologie verteva nello stabilizzare il *coating* (Matsuura et al. 1995) e facilitare il chemisorbimento⁷⁸ degli NO_x, e la loro conversione grazie all'H₂ prodotto dalla reazione di spostamento del gas d'acqua⁷⁹ (Hepburn et al. 1994). Senza questi accorgimenti il Pd si sarebbe sinterizzato sopra gli 800 °C e non avrebbe sopportato ambienti eccessivamente riducenti, sovraccarichi di HC e CO⁸⁰, durante le fasi di accelerazione o di alta velocità costante. In questo modo si poterono ottenere riduzioni del 30% delle emissioni di HC, del 20% del CO e del 50% degli NO_x rispetto ai dispositivi in commercio, costituiti principalmente da Pt-Pd-Rh (Hepburn et al. 1994).

System Descriptions				
System	Catalyst 1	Load g/l (g/ft ³) Ratio	Catalyst 2, 3	Load g/l (g/ft ³) Ratio
1	Pt:Rh	1.41 (40) 5:1	Pt:Rh	1.41 (40) 5:1
2	Pd	5.3 (150)	Pt:Rh	1.41 (40) 5:1
3	Pd	10.59 (300)	Pt:Rh	1.41 (40) 5:1
4	Pd:Rh	3.53 (100) 14:1	Pd:Rh	3.53 (100) 14:1
5	Pt:Pd:Rh	3.71 (105) 1:14:1	Pt:Pd:Rh	3.71 (105) 1:14:1

Figura 10: Possibili combinazioni di convertitori catalitici con relative dosi di metalli nobili

Poiché il rendimento dei convertitori al Pd, in particolare per quanto riguarda la conversione degli NO_x, dipendeva ampiamente dalla qualità del combustibile, spesso scarsa, e dall'alta quantità di Pd necessaria, secondo numerosi studi l'aggiunta di piccole quantità di Rh, meno di 0.1 g per dispositivo, avrebbe garantito una resa maggiore, specie nella posizione *close-coupled* ed in combinazione con altri convertitori TWC (Brisley et

⁷⁸ [L'adsorbimento chimico, o chemisorbimento] può essere considerato come una reazione chimica tra gli atomi o le molecole della superficie dell'adsorbente e le molecole della sostanza adsorbita. (*adsorbimento*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/adsorbimento/>, 07-05-2021)

⁷⁹ La reazione di spostamento del gas d'acqua, o reazione WGS (*water-gas shift*), ovvero $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$, è una reazione industriale importante per la produzione di H₂. (in "Gokhale, A. A., Dumesic, J. A., & Mavrikakis, M. (2008). "On the mechanism of low-temperature water gas shift reaction on copper". *Journal of the American Chemical Society*, 130(4), 1402-1414")

⁸⁰ Tipici dei motori a benzina.

al. 1995; Farrauto et al. 2019; Heck et al. 2009). Secondo questi studi, in condizioni reali il convertitore al Pd in posizione *close-coupled* non era in grado di convertire la stessa percentuale di NO_x convertita dai convertitori al Pd-Rh, in quanto nel *Pd-only TWC* i gas necessari per la riduzione degli NO_x, cioè HC, CO e H₂, venivano ossidati prima che la riduzione stessa avvenisse. Il Rh, che peraltro gode di una maggior resistenza all'avvelenamento da Pb rispetto al Pd, prende parte sia alle reazioni ossidanti sia, e soprattutto, alla reazione riducente degli NO_x, perciò il suo accostamento avrebbe giovato anche nella formula *close-coupled*. La tecnologia catalitica al Rh-Pd è dunque una delle più efficienti, detenendo conversioni maggiori del 99% per gli HC ed NO_x in seguito a test di invecchiamento⁸¹ prolungati tra i 950 ed i 1050 °C (Farrauto et al. 2019).

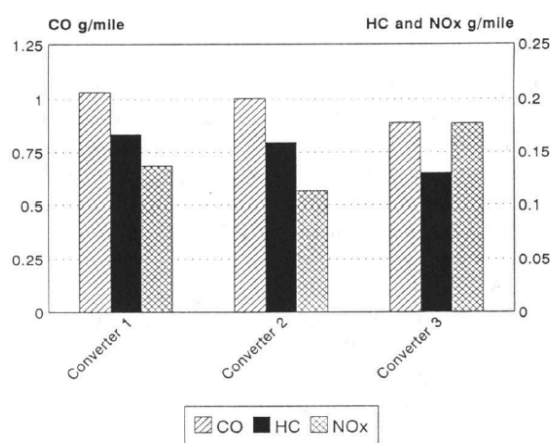


Figura 11: Emissioni relative ai convertitori citati nella Figura 10. Il convertitore al Pd (conv. 2) offre prestazioni migliori rispetto al convertitore Pt-Rh

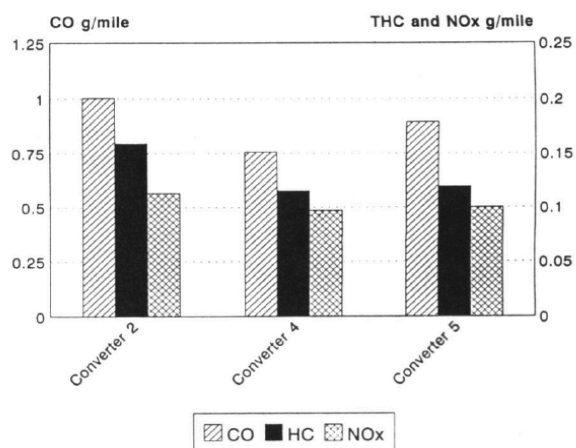


Figura 12: Emissioni relative ai convertitori citati nella Figura 10. Il convertitore al Pd-Rh (conv. 4) offre le migliori prestazioni tra le cinque configurazioni prese in analisi.

⁸¹ Test svolti in laboratorio per verificare la durabilità e l'efficienza dei convertitori catalitici.

3.3 I motori a diesel

3.3.1 Il DOC: convertitore ossidante per i motori a diesel

Vista la differenza di carburante e del tipo di motore, ad accensione spontanea nel primo caso e ad accensione comandata nel secondo, i dispositivi sviluppati per i motori diesel e per i motori a benzina godono di tecnologie parzialmente diverse. Il dispositivo principale per i veicoli a diesel è il convertitore ossidante, detto DOC (*Diesel Oxidation Catalyst*), adibito all'ossidazione degli HC gassosi, del CO e della frazione organica volatile, o solubile (VOF/SOF), ovvero la parte liquida del PM derivata dal carburante incombusto e dagli oli lubrificanti, che formano aerosol e possono venire assorbiti dal cosiddetto *soot*, il costituente solido del PM.

I primi modelli progenitori del DOC risalgono al 1967, ai tempi delle prime regolamentazioni ambientali statunitensi, quando iniziarono ed essere montati sui mezzi da lavoro, carrelli elevatori e mezzi per l'estrazione mineraria (Heck et al. 2009). Tuttavia, solo verso la metà degli anni '80 l'EPA e la CARB iniziarono a regolamentare le emissioni dei motori diesel emanando nuovi emendamenti al Clean Air Act nel 1990, quando il governo degli Stati Uniti impose nuove limitazioni in merito a PM, HC, CO e NO_x per camion e autobus, dotati principalmente di motori a diesel, e nel 1994, quando le limitazioni per il PM passarono da 0.34 a 0.14 g/kWh⁸². L'equivalente restrizione europea fu messa in atto dal passaggio, sempre per i mezzi pesanti, dalla fase Euro 1 del 1992 alla fase Euro 2 del 1995. Mentre in Cina i motori diesel non superarono mai i motori a benzina in volumi di vendite, e mentre negli USA il diesel si diffuse a causa dell'aumento dei prezzi del greggio⁸³ durante le crisi energetiche degli anni '70⁸⁴ ma lasciò il posto alla benzina negli anni '80, in Europa, verso la metà degli anni '90, si verificò un vero e proprio boom dei veicoli a diesel. La diffusione di questo carburante portò il continente a possedere il maggior numero di veicoli diesel del mondo, per ragione delle strategie

⁸² Nel sistema anglosassone vengono impiegati i grammi al cavallo al freno (g/bhp-hr). Il cavallo al freno bhp (*brake horse power*, bhp) è un'unità pratica di misura della potenza, pari a 746,1 W, superiore di circa l'1,5% al cavallo-vapore.

⁸³ I motori diesel garantivano una migliore efficienza nei consumi di carburante.

⁸⁴ La crescita dei consumi mondiali di petrolio, che era stata una delle caratteristiche degli anni Sessanta, sul finire del 1973 subì una netta battuta di arresto per effetto della complessa serie di avvenimenti, definiti convenzionalmente come prima crisi energetica [causata principalmente dal] conflitto arabo-israeliano del Kippur. [...] La successiva fase di recupero venne interrotta bruscamente sul finire del 1979 a seguito della seconda crisi energetica, con lo scoppio della guerra tra Iraq e Iran, due tra i principali produttori ed esportatori di greggio. (*petrolio*, in "Enciclopedia Italiana - V Appendice (1994)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/petrolio_res-f5b6638e-87ea-11dc-8e9d-0016357eee51_%28Enciclopedia-Italiana%29/, 09-05-2021)

politiche attuate dalla Commissione Europea per ridurre le emissioni di CO₂. Il paese in cui il processo di diffusione del diesel si verificò con maggior velocità fu l'Italia, dove la quota di auto diesel quadruplicò tra il 1995 ed il 2009 (Cames et al. 2013).

I primi standard sulle emissioni dei veicoli a diesel furono ottemperati grazie al sistema EGR, nonché ottimizzando la mandata di carburante, il sistema di aspirazione dell'aria ed il processo di combustione, ma quando le restrizioni si fecero più severe si dovette ricorrere al convertitore DOC (Heck et al. 2009). Le funzioni del DOC sono fondamentali: il DOC ossida l'NO in NO₂, che contribuisce alla riduzione della temperatura di attivazione ed alla rigenerazione del filtro antiparticolato (*Diesel Particulate Filter*, DPF); in seconda istanza smaltisce il carburante incombusto proveniente dal motore o iniettato nello scarico per rigenerare il DPF e la trappola LNT; infine rimuove gli HC gassosi, che altrimenti inibirebbero il funzionamento del convertitore adibito allo smaltimento degli NO_x, cioè il convertitore per la riduzione selettiva catalitica (*Selective Catalytic Reduction*, SCR).

Tra i modelli di convertitori DOC che hanno avuto più successo compaiono quelli prodotti negli anni '90 dalla Engelhard, che brevettò un convertitore per mezzi pesanti con *coating* di γ -Al₂O₃, ossidi di cerio (CeO₂)⁸⁵ con funzione OSC e con piccole quantità di Pt per catalizzare il CO e gli HC. Dalla joint venture tra la giapponese Nippon Shokubai e la tedesca Degussa nacque invece un DOC per mezzi pesanti con Pd supportato su un *coating* di zirconio (Zr) ed ossidi attivatori come gli ossidi di terre rare. La Degussa progettò successivamente un DOC per veicoli passeggeri che godeva di un rivestimento di Pt ed ossidi di vanadio (V) e di titanio (Ti), ossidi che, come gli ossidi di silicio (Si), di zirconio e come il Rh, venivano usati come stabilizzanti per inibire la formazione dei solfati da parte di Pd e Pt⁸⁶. Di seguito verrà preso in considerazione il convertitore DOC della Engelhard.

Il convertitore DOC della Engelhard del 1996 ha una struttura ed una preparazione simili a quelle di un convertitore TWC: è un convertitore monolitico a nido d'ape *flow-through*, ovvero in cui il flusso è forzato a passare attraverso i canali del monolite da un estremo all'altro dello stesso. Si distingue dalla struttura tipica dei filtri DPF, detta *wall-flow*, con canali paralleli alternativamente interrotti in cui il flusso è forzato a passare attraverso le pareti ceramiche dei canali. Questo genere di catalizzatore è adatto a qualunque tecnologia in cui vengano rilasciati oli lubrificanti, quali lo scarico dei motori

⁸⁵ Il cerio è altamente selettivo nei confronti del PM in quanto permette l'adsorbimento della sua frazione solubile prima dell'attivazione catalitica del convertitore, cioè sotto i 200 °C (Heck et al. 2009).

⁸⁶ I metalli nobili sono inclini all'ossidazione dello zolfo in solfati.

a gas naturale compresso (GNC), lo scarico dei motori ad etanolo, i compressori e le turbine a gas. Tra i materiali scelti per il substrato figurano in primis la cordierite, ma anche l' α - Al_2O_3 , gli ossidi di zirconio, la mullite, oppure metalli refrattari quali l'acciaio inossidabile. Il substrato può contenere fino a 700 celle, o canali, al pollice quadro (*cells per square inch*, cpsi), ma solitamente contiene tra 200 e 400 cpsi. Il *washcoat* invece gode di una superficie BET di almeno $10 \text{ m}^2/\text{g}$ ed è composto da una combinazione di CeO_2 , con funzione OSC, ed un secondo ossido metallico di Ti, Zr, Si e/o γ - Al_2O_3 . Solitamente il composto di ossidi metallici viene mischiato con H_2O ed un acidificante come l'acido acetico, acido nitrico o acido solforico, e poi macinato tramite mulino a sfere. Viene dunque preparato in forma di *slurry* acquoso da applicare al substrato di cordierite, su cui viene poi essiccato e calcinato fino a formare un tutt'uno con il substrato stesso. Infine, il *washcoat* viene impregnato con una soluzione salina di Pd o Pt, per esempio potassio tetracloroplatinato, acido cloroplatinico, nitrato di palladio o cloruro di palladio.

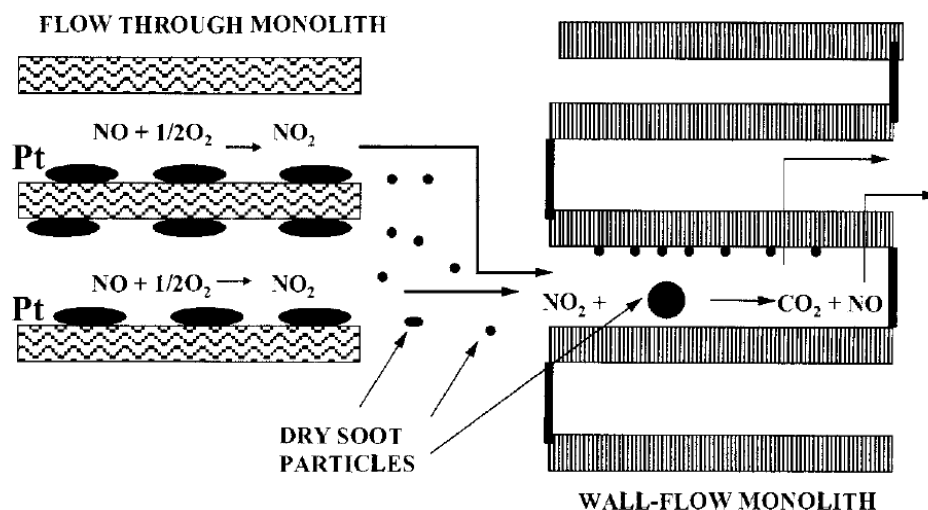


Figura 13: Differenza tra flow-through e wall-flow

Poiché i motori a ciclo Diesel operano in condizioni di miscela magra, le temperature nello scarico sono tendenzialmente più basse, quindi sono necessarie quantità maggiori di metalli preziosi. Per questo motivo un convertitore DOC contiene in media da due a tre volte la quantità di materiale catalitico contenuto in un convertitore TWC (Russell et al. 2011). Mentre per adsorbire la SOF al di sotto dei $200 \text{ }^\circ\text{C}$ viene aggiunto il CeO_2 , nei DOC più moderni si fa spesso ricorso alle zeoliti⁸⁷, come la β -zeolite (BEA),

⁸⁷ Nel 1756 il mineralogista svedese Alex F. Cronstedt, noto per aver scoperto il nichel, descriveva le particolari proprietà di un minerale proveniente dalla miniera di rame di Svappavari (Laponia): se il

la mordenite (MOR) e le ZSM-5⁸⁸, che ricoprono il ruolo di trappola per l'adsorbimento degli HC gassosi alle basse temperature (Yavuz et al. 2001). Una volta raggiunta la temperatura di attivazione del catalizzatore gli HC vengono rilasciati e catalizzati da Pt e Pd (Heck et al. 2009). Le zeoliti riducono inoltre la temperatura di attivazione del convertitore per la catalisi del CO: poiché questi minerali forniscono nuovi siti di immagazzinamento per gli HC sulla propria superficie, numerosi siti attivi sul *washcoat* vengono resi disponibili per l'ossidazione del monossido (Russell et al. 2011).

minerale veniva posto su un letto di borace riscaldato ad alcune centinaia di gradi centigradi, questo sembrava bollire. Per questa particolare proprietà, non rilevata in altri minerali allora conosciuti, Cronstedt coniò il termine zeolite (dal greco zein=bollire e lithos=pietra). [...] Le loro caratteristiche principali sono: (a) la presenza di canali e/o gabbie regolari (anche detti micropori) con dimensioni che variano da zeolite a zeolite [...] (b) la carica negativa della struttura dovuta alla presenza di tetraedri $[AlO_4]^-$ nell'impalcatura di tetraedri $[SiO_4]^{4-}$, normalmente compensata da cationi alcalini (per es., Li^+ , Na^+ , K^+) e/o alcalino-terrosi (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}) localizzati nei micropori, debolmente legati all'impalcatura alluminosilicatica e, quindi, facilmente scambiabili; (c) la presenza nei pori di acqua che può essere desorbita reversibilmente a seguito di blando riscaldamento. [...] Va rilevato che, a novembre 2005, erano noti 165 diversi tipi di impalcatura zeolitica, raccolti in modo sistematico nell'Atlas of zeolite framework types, una pubblicazione periodica a cura della IZA-SC (Structure Commission of International Zeolite Association). In accordo con le raccomandazioni della IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), ciascun tipo di impalcatura è identificato da un codice a tre lettere che definisce in modo univoco le caratteristiche strutturali indipendentemente dal chimismo dell'impalcatura stessa e delle specie chimiche presenti nel sistema poroso. (*zeoliti*, in "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/zeoliti_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, 12-05-2021)

⁸⁸ Le ZSM-5 sono [...] da considerarsi una famiglia di zeoliti più che un singolo composto. La ZSM-5 è stata sintetizzata per la prima volta nel 1972 nei laboratori dell'allora Mobil Oil Co. (la sigla ZSM sta per Zeolite Socony-Mobil, dalla precedente denominazione della società). È un tipico esempio di catalizzatore che agisce con il meccanismo della shape selectivity (selettività di forma). [...] Il processo di maggiore importanza commerciale basato sull'uso della ZSM-5 è il cracking catalitico a letto fluido, che consente di ottenere idrocarburi a catena corta e ramificata a partire da frazioni più pesanti del greggio, e nel quale la ZSM-5 viene usata come additivo catalitico. In virtù della shape selectivity, nella ZSM-5 il processo di formazione del coke, responsabile dell'avvelenamento di molti altri catalizzatori usati nell'industria petrolifera, avviene con estrema lentezza. (ZSM, in "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/zsm_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, 21-05-2021)

3.3.2 Il filtro antiparticolato: dal diesel alla benzina

Come già accennato, i motori diesel operano in un ambiente di miscela magra, quindi sono caratterizzati da emissioni di CO₂ relativamente basse, tuttavia la presenza della tecnologia EGR con scambiatore di calore⁸⁹, che riduce le emissioni di NO_x, può portare all'abbassamento della temperatura di fiamma adiabatica, e quindi alla produzione di quantità molto elevate di PM, che rimangono incombusti (Heck et al. 2009). A metà degli anni '80 fu inventato un dispositivo, finalizzato ad intrappolare la porzione del PM che non veniva ossidata dal convertitore DOC, ovvero la sua componente solida: si trattava del filtro antiparticolato (*Diesel Particulate Filter*, DPF). Il DPF era composto di un monolite a nido d'ape dotato di una nuova tecnologia, detta *wall-flow*. I canali del monolite *wall-flow* hanno una forma "a meandro", ovvero, mentre un canale è aperto all'ingresso e chiuso all'uscita, i canali adiacenti sono aperti all'uscita e chiusi all'ingresso, per fare in modo che il flusso di gas attraversi obbligatoriamente le pareti ceramiche del monolite stesso e per intrappolare il PM nella sua struttura porosa. Poiché dopo un certo intervallo di tempo le pareti del monolite si ostruiscono, è necessario rigenerare il DPF tramite l'iniezione di carburante, che alza la temperatura dello scarico al di sopra dei 500 °C (Heck et al. 2009). I materiali più adatti al substrato per la loro elevata resistenza termica sono il carburo di silicio (SiC) ed il titanato di alluminio (Al₂TiO₅), ma, essendo materiali molto costosi, spesso si propende per la cordierite (Mg₂Al₄Si₅O₁₈), che da anni si rivela essere uno dei migliori materiali ceramici per i monoliti a nido d'ape.

Secondo uno studio della MECA (Manufacturers of Emission Controls Association) del 1999, utilizzando un DPF catalizzato (*Catalyzed Diesel Particulate Filter*, cDPF), cioè dotato di un *coating* impregnato di Pt o Pd, si potevano ottenere emissioni ridotte del 60% per il CO, del 70% per il PM e dell'80% per gli HC emessi dai gas di scarico dei veicoli a diesel piuttosto che usando un DPF privo di materiale catalitico: un veicolo dotato di cDPF ed EGR poteva portare le emissioni di NO_x e CO al di sotto dei 3.4 g/kWh e le emissioni di PM al di sotto degli 0.07 g/kWh, nel caso di carburanti a basso tenore di zolfo, con livelli pari a 54 ppm (MECA 1999). Lo studio sottolineò inoltre la necessità di ricorrere a carburanti con tenore di zolfo inferiore, dell'ordine delle 15 ppm (*ultra-low sulfur diesel*, ULSD), per ottenere emissioni ancora più basse. Per

⁸⁹ Ogni apparecchio che ha la funzione di operare lo scambio termico tra due fluidi. (*scambiatore di calore*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/scambiatore/>, 13-05-2021)

garantire le alte capacità di filtrazione del cDPF è necessario che il *washcoat* venga depositato omogeneamente sui pori del substrato, in modo da non ostruirli e da non provocare una contropressione troppo elevata, andando in profondità e non limitandosi allo strato superficiale del monolite. Per questo motivo la quantità di *washcoat* necessaria ad un cDPF è molto inferiore a quella necessaria per i convertitori TWC e DOC. La porosità del monolite deve inoltre essere elevata ma i pori non devono essere troppo larghi, per non compromettere la capacità di filtrazione del dispositivo. Grazie al materiale catalitico è possibile rigenerare il filtro ad una temperatura più bassa: 350 °C anziché 500 °C. Poiché le temperature più alte durante la rigenerazione si attestano all'uscita (*outlet*) del filtro, la maggior parte del materiale catalitico viene depositata all'ingresso (*inlet*), per evitare che i metalli nobili si sinterizzino ed il filtro si disattivi: questa tecnica viene definita “*zone coating*”, o “*zoning catalitico*”, e permette di estendere la durabilità del dispositivo impiegando una quantità minore di fase attiva (Heck et al. 2009).

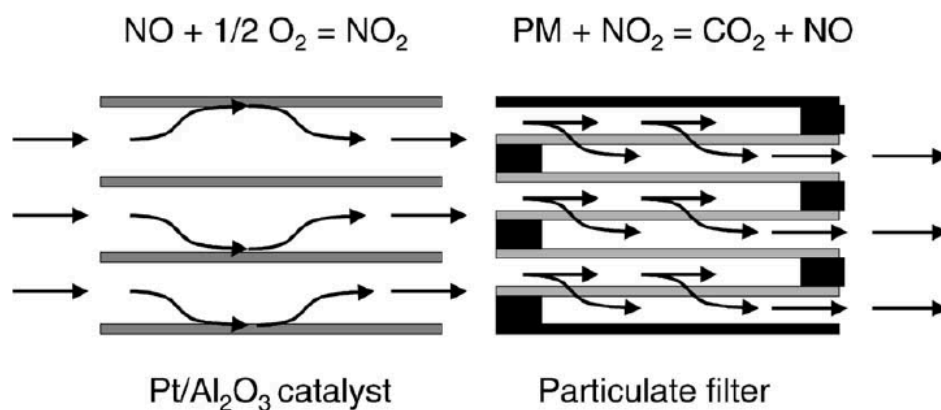


Figura 14: Funzionamento di una trappola CRT

Un'alternativa al cDPF è il sistema CRT (*Continuously Regenerating Trap*), progettato dai ricercatori della JM (Kašpar 2003), che implica il posizionamento di un convertitore ossidante DOC a monte di un DPF non catalizzato o all'interno della stessa struttura del filtro. Nel caso in cui il DOC sia incorporato nel CRT saranno necessarie temperature minori per la sua rigenerazione e le emissioni di HC e CO saranno inferiori. Il CRT si basa sul forte potere ossidante che l'NO₂ esercita sul PM e che permette all'ossido di azoto di ricoprire un ruolo chiave nella rigenerazione del DPF. Per produrre NO₂ tramite l'ossidazione dell'NO, all'interno del convertitore DOC, sono necessarie alte temperature, perciò il sistema è più adatto ai mezzi pesanti a diesel, tuttavia anche in questo caso la rigenerazione del PM avviene a temperature più basse rispetto a quelle a

cui avviene la rigenerazione di un DPF singolo non catalizzato (Russell et al. 2011). Il filtro CRT è “continuo” poiché produce costantemente l’NO₂ che libera il DPF dal *soot* che rimane intrappolato nei suoi pori ceramici, senza dargli il tempo di ostruirsi, mentre un DPF, catalizzato o meno, necessita di iniezioni di carburante. Vista la natura ossidante dei motori a diesel e vista la necessità di produrre elevate quantità di NO₂ per rigenerare il DPF, i veicoli a diesel sono dotati di dispositivi appositi per la depurazione dei gas di scarico dagli NO_x, come esposto nel prossimo paragrafo.

In anni recenti la tecnologia DPF per i motori a diesel è stata estesa anche ai motori a benzina, data la diffusione dei motori a iniezione diretta (*Gasoline Direct Injection*, GDI)⁹⁰. Questi motori godono di consumi molto bassi grazie al fatto che il carburante viene iniettato direttamente nel flusso d’aria altamente compresso che entra nel cilindro, operazione controllata dalla centralina di bordo (*On Board Diagnostics*, OBD). Tuttavia, ne risultano al contempo temperature ridotte ed elevate emissioni di PM, da cinque a dieci volte maggiori rispetto ai motori a iniezione indiretta (Ashley 2014). Nel 2014 l’azienda tedesca Daimler ha iniziato a commercializzare in massa la tecnologia GPF (*Gasoline Particulate Filter*), che si è diffusa in larga scala dal 2017 grazie alla nuova legislazione europea 6d-TEMP (Majewski 2020). I filtri GPF hanno avuto una risonanza notevole soprattutto in Europa, per quanto riguarda i motori GDI, ed in Cina, paese in cui la nuova tecnologia ha coinvolto tutti i veicoli a benzina. Le limitazioni di PN (*Particle Number*) sul ciclo WLTP, pari a 6.0×10^{11} km⁻¹, e sul ciclo RDE (PN_{RDE}), pari a 9.0×10^{11} km⁻¹, sono entrate in vigore a settembre del 2017 in Europa, mentre in Cina sono entrate in vigore a luglio del 2020 per quanto riguarda il WLTP, e verranno implementate nel luglio del 2023 per quanto riguarda l’RDE, secondo la regolamentazione Cina 6b. Probabilmente la tecnologia GPF non si diffonderà negli Stati Uniti, dove le limitazioni sul PM sono calcolate in termini di massa⁹¹: secondo lo US Tier 3 il PM non deve superare i 3 mg/mi (Majewski 2020). Nelle prime applicazioni il GPF è stato ubicato privo di rivestimento catalitico a valle

⁹⁰ L’iniezione di benzina effettuata direttamente in camera di combustione elimina alla base i limiti presenti nei m. a iniezione indiretta (formazione di film liquidi e perdite di carico dovute all’organo di regolazione della potenza costituito dalla valvola a farfalla). Per questa nuova tipologia di m., infatti, la formazione della miscela aria-combustibile avviene direttamente all’interno del cilindro. [...] Anche se i predetti vantaggi sono noti da tempo, la realizzazione di questo innovativo sistema di alimentazione del m. si è potuta sviluppare solo in questi ultimi anni. (*motori a iniezione diretta*, in “Enciclopedia Italiana - VI Appendice (2000)”, in https://www.treccani.it/enciclopedia/motore_res-436fcca8-9b9c-11e2-9d1b-00271042e8d9_%28Enciclopedia-Italiana%29/, 12-05-2021)

⁹¹ La sensibilità dei metodi di misurazione non basati sulla massa è nettamente maggiore. (in “Mohr, M., Lehmann, U., e Rütter, J. (2005), “Comparison of Mass-Based and Non-Mass-Based Particle Measurement Systems for Ultra-Low Emissions from Automotive Sources”, *Environmental Science & Technology*, 39(7), 2229–2238”)

del convertitore TWC, ma più di recente si è diffusa la versione catalitica di ultima generazione dotata di TWC interno al filtro: si tratta del “convertitore a quattro vie” (*Four Way Catalyst*, FWC), che offre vantaggi significativi in termini di costi e spazio, e contribuisce ad abbassare la temperatura di rigenerazione del *soot* (Farrauto et al. 2019).

3.3.3 I dispositivi per la rimozione degli ossidi di azoto

Gli NO_x sono sostanze altamente nocive e sono presenti in gran quantità nell'ambiente ossidante tipico dei motori a ciclo Diesel. I dispositivi che sono stati studiati per lo smaltimento di questi ossidi sono numerosi ma non tutti hanno avuto il successo sperato. Un esempio è la tecnologia LNC (*Lean NO_x Catalyst*), che converte gli NO_x in CO_2 , H_2O e N_2 tramite la semplice iniezione di carburante. La ricerca relativa agli LNC è iniziata negli anni '90, ma dopo vent'anni non sono stati trovati materiali sufficientemente attivi o selettivi per gli NO_x . I due gruppi di materiali più ambiti sono stati l' Al_2O_3 impregnata di Pt e la zeolite ZSM-5 scambiata con Cu. Mentre il Pt è attivo solo tra i 180 °C e i 275 °C e converte gli NO_x in ossido nitroso (N_2O) e l'anidride solforosa (SO_2) in anidride solforica (SO_3), il Cu si attiva solo una volta raggiunti i 350 °C, viene avvelenato da SO_2 e non è stabile sopra i 600 °C (Heck et al. 2009). Qualora fosse stato trovato un materiale adatto ad un *range* di temperature più ampio, all'entrata in vigore della normativa Euro 5 nel 2008 il sistema LNC non avrebbe tuttavia potuto soddisfare le nuove restrizioni stabilite dall'UE.

La tecnologia più utilizzata e più di successo per la riduzione degli NO_x nei motori a diesel è la riduzione catalitica selettiva (*Selective Catalytic Reduction, SCR*). L'SCR viene sfruttato da ben cinquant'anni nelle centrali termoelettriche in Giappone, si è diffuso in Europa negli anni '80 ed ha iniziato a diffondersi in Nord America per lo smaltimento dei gas prodotti dalle centrali elettriche a carbone e dalle turbine a gas negli anni '90 (Majewski 2005). Il dispositivo in questione converte gli NO_x in N_2 e H_2O grazie al potere riducente dell'ammoniaca (NH_3), che viene ricavata per idrolisi dall'urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) contenuta in una soluzione commercialmente chiamata AdBlue, inserita in un vano apposito da cui viene richiamata nel momento in cui l'OBD capta un eccesso di NO_x . L'AdBlue, marchio registrato dell'AUS32 (*Aqueous Urea Solution 32.5%*), anche detto DEF (*Diesel Exhaust Fluid*), è una soluzione di acqua demineralizzata che contiene urea al 32.5%.

Da un punto di vista prettamente strutturale i dispositivi SCR sono composti da un monolite metallico o ceramico, per esempio il monolite in cordierite 400/6 della Corning, con 400 cps⁹² e 0.15 mm⁹² di spessore delle pareti, e da un *washcoat* che in base alle caratteristiche desiderate può essere composto da materiali di diversa natura (Buzby et al. 2010). Le combinazioni più comuni per il *washcoat* sono l'anidride vanadica (V_2O_5)

⁹² Equivalenti a 6 millesimi di pollice.

ed il triossido di tungsteno (WO_3) dispersi su biossido di titanio (TiO_2) ed il *washcoat* di zeolite scambiata con Fe (Fe-zeolite), per esempio la β -zeolite con ioni di Fe (Fe-BEA), o una zeolite scambiata con Cu (Cu-zeolite), per esempio la cabasite con ioni di rame (Cu-CHA). La prima configurazione si attiva a temperature più basse rispetto ad alcune zeoliti grazie al vanadio, è resistente al *coking*, ovvero l'otturazione dei pori del *washcoat* a causa delle particelle carboniose, è selettiva nei confronti di NO_2 e non porta alla formazione di sostanze indesiderate quali l' N_2O ⁹³, ed è particolarmente adatta all'adozione da parte di quei paesi in cui i livelli di zolfo non sono ancora stati limitati (Johnson et al. 2018). Tuttavia, mentre il V diventa volatile alle alte temperature, le zeoliti mostrano una maggiore resistenza termica: è stato provato che le Cu-zeoliti sono stabili fino a 800 °C, ma sono anche le più efficienti alle basse temperature, sotto i 450 °C (Russell et al. 2011). Le Cu-zeoliti inoltre favoriscono la conversione di NO in NO_2 e l'ossidazione di NH_3 in N_2 e H_2O , perciò sono attive per la conversione degli NO_x soprattutto in eccesso di NO, mentre se il monossido è presente al di sotto del 50% l'opzione migliore ricade sulle Fe-zeoliti. Queste ultime si comportano meglio delle Cu-zeoliti in presenza di S e sono meno selettive nei confronti di N_2O ⁹⁴ (Johnson et al. 2018).

In alcune condizioni potrebbe capitare che l'SCR produca NH_3 in eccesso per la riduzione di NO_x , oppure che l' NH_3 venga desorbita dall'SCR in caso di aumento repentino della temperatura⁹⁵ (Ohori et al. 2020). Per evitare che l' NH_3 venga dispersa nell'ambiente, è stato sviluppato un dispositivo apposito, detto ASC (*Ammonia Slip Catalyst*), pensato per essere ubicato dopo l'SCR. L'ASC è dotato di un convertitore ossidante con substrato in cordierite e *coating* impregnato di metalli nobili e di uno strato che funge da SCR. Mentre la parte ossidante converte l' NH_3 in eccesso in NO e H_2O , l'SCR con funzione riducente consente la reazione tra l' NH_3 , l' O_2 e l'NO appena prodotto generando N_2 e H_2O . In questo modo vengono eliminati sia gli NO_x sia l' NH_3 dispersa dal convertitore SCR principale.

Nei motori a combustione magra, sia a diesel sia a benzina, la rimozione degli NO_x viene coadiuvata da dispositivi pensati per condizioni di $\lambda > 1$, detti NAC (NO_x

⁹³ La formazione di ossido nitroso (N_2O) nei dispositivi SCR è dovuta alla decomposizione del nitrato di ammonio (NH_4NO_3) prodotto dalla reazione tra NO_2 e NH_3 , ed alla reazione di ossidazione parziale di NH_3 . (In "Kamasamudram et al. (2012). "N₂O Formation and Mitigation in Diesel Aftertreatment Systems". *SAE International Journal of Engines*, 5(2), 688-698")

⁹⁴ Producono meno N_2O .

⁹⁵ Alle basse temperature l' NH_3 può essere prodotta durante la rigenerazione degli altri dispositivi catalitici, come l'LNT, ed adsorbita temporaneamente sui siti acidi del *washcoat* dell'SCR in attesa che si raggiunga la temperatura di attivazione dell'SCR stesso. (in "Farrauto, R. J., Deeba, M., & Alerasool, S. (2019). "Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air". *Nature Catalysis*, 2(7), 603-613")

Adsorber Catalyst), che si attivano alle basse temperature. La tecnologia NAC è stata introdotta inizialmente sui motori GDI, seguiti dai veicoli leggeri a diesel tra il 2007 ed il 2009, con le nuove omologazioni US Tier 2 ed Euro 5 (Majewski 2020). Nei motori a ciclo Diesel tali dispositivi sono complementari all'SCR, mentre nei motori a ciclo Otto affiancano il TWC, che non è sufficiente a ridurre gli NO_x in autonomia in condizioni di miscela magra. Gli NAC possono essere attivi, come l'LNT (*Lean NO_x Trap*), anche detto "sistema di accumulo-riduzione per NO_x" (*NO_x Storage and Reduction*, NSR), o passivi, come il PNA (*Passive NO_x Adsorber*). Queste due categorie si distinguono principalmente perché il PNA rilascia gli ossidi con l'aumento "naturale" della temperatura nello scarico del veicolo, mentre l'LNT viene rigenerato con delle iniezioni di carburante controllate dall'OBD, come avviene per il filtro DPF. La temperatura di rilascio degli NO_x da un dispositivo PNA di Pd-zeolite, la configurazione più efficiente, dipende principalmente dal tipo di zeolite impiegata e dunque dalla dimensione dei pori del *washcoat*: 200 °C per le zeoliti macroporose, 250 °C per le zeoliti mesoporose, e 375 °C per le zeoliti microporose (Johnson et al. 2018). Il dispositivo LNT invece adsorbe gli NO_x ogni volta che il motore opera in condizioni magre e li rilascia dopo circa 60 s con l'iniezione di HC per meno di 1 s (Heck et al. 2009).

Il dispositivo LNT è costituito da un convertitore TWC modificato con una trappola di materiale alcalino, per esempio ossido di bario (BaO) o carbonato di potassio (K₂CO₃), ed una fase attiva di metalli nobili, che in quantità cospicue favorisce il processo "DeNO_x"⁹⁶ sotto i 450 °C (Johnson et al. 2018). Poiché l'LNT adsorbe meglio l'NO₂ dell'NO, durante la fase magra il TWC si rivela fondamentale in quanto il 90% degli NO_x nei motori diesel sono composti da NO: il TWC provvede all'ossidazione di NO in NO₂ tramite la fase attiva (Russell et al. 2011). Dopodiché l'NO₂ viene intrappolato ed immagazzinato sugli ossidi di metalli alcalini dell'LNT (BaO-NO₂) ed in seguito viene rilasciato in ambiente grasso e ridotto dal Rh del TWC in N₂. Anche l'Al₂O₃ del *washcoat* può partecipare all'adsorbimento degli NO_x, ma in misura minore rispetto agli ossidi alcalini (Russell et al. 2011). Un problema che può colpire la trappola LNT è l'avvelenamento da S, nel caso sia presente nel carburante, dal momento in cui gli ossidi di zolfo (SO_x) si combinano con i metalli alcalini della trappola. Per liberare la trappola dagli SO_x le temperature di una normale rigenerazione non sono sufficienti, perciò è necessario portare la

⁹⁶ La riduzione degli ossidi di azoto.

temperatura dello scarico sopra i 650 °C in condizioni grasse. L'operazione deve durare poco tempo, altrimenti si potrebbe favorire la formazione di acido solfidrico (H₂S) (Heck et al. 2009).

I dispositivi per la riduzione degli NO_x sono combinati in modo da ottenere la miglior efficienza di riduzione possibile. L'accostamento tra LNT e SCR è ormai fondamentale per il rispetto delle normative ambientali più recenti a qualunque temperatura. In primo luogo, l'LNT adsorbe gli NO_x alle basse temperature tipiche dei motori a combustione magra moderni. In secondo luogo, poiché l'idrolisi dell'urea tramite SCR avviene al di sopra dei 200 °C, l'NH₃ può essere prodotta durante la rigenerazione della trappola LNT a basse temperature ed immagazzinata sui siti acidi delle zeoliti dell'SCR: in questo modo gli NO_x possono iniziare ad essere ridotti al di sotto della temperatura di *light-off* dell'SCR (Farrauto et al. 2019). In alternativa, l'SCR viene posto a valle di un convertitore DOC che ossida NO in NO₂⁹⁷ e la SOF in CO₂ e H₂O⁹⁸. Una configurazione molto comune nei veicoli a diesel è l'abbinamento di un convertitore ossidante DOC, oppure una trappola LNT, ed un filtro DPF, seguiti da un dispositivo SCR dotato di ASC. Il DOC è preferibile in ambiente extraurbano a causa delle temperature elevate necessarie per il suo funzionamento ma la trappola LNT ha mostrato una miglior performance globale durante il ciclo di prova su strada RDE (Johnson et al. 2018; Olsson et al. 2019).

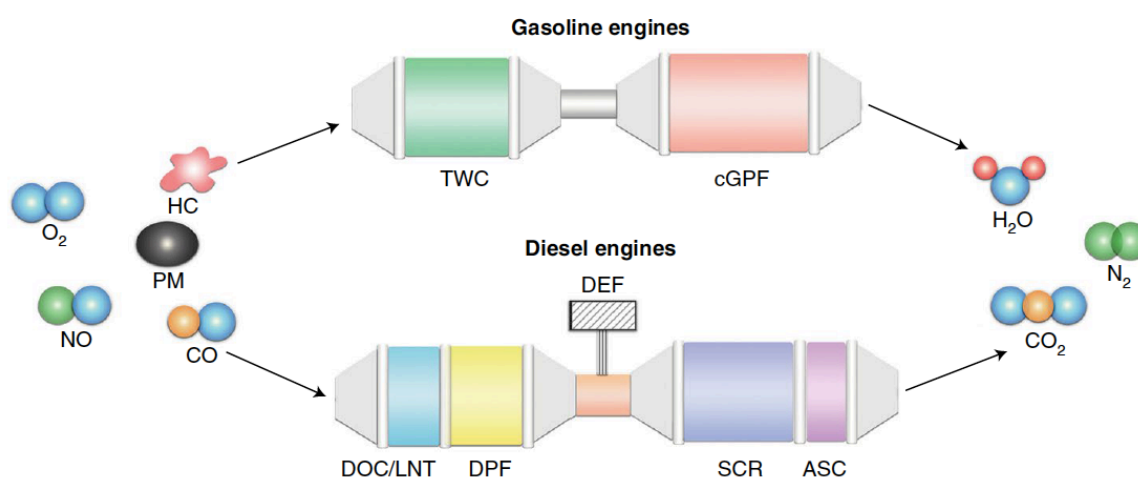


Figura 15: Due configurazioni tipiche dei sistemi di controllo delle emissioni per i motori a benzina e per i motori a diesel.

⁹⁷ L'SCR è più reattivo nei confronti di NO₂ che di NO alle basse temperature.

⁹⁸ La frazione solubile organica (SOF) può danneggiare l'SCR.

3.4 Le nuove tecnologie

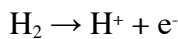
Nel 2015 l'ONU ha approvato la cosiddetta "Agenda 2030", una serie di 17 obiettivi di sviluppo sostenibile da portare a compimento entro il 2030, buona parte dei quali sono correlati al settore dei trasporti, come l'Obiettivo 11 dal titolo "Città e comunità sostenibili". Secondo il Rapporto Speciale del 2018 del Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), un'organizzazione volta a studiare il riscaldamento climatico fondata nel 1988, un aumento della temperatura di 1.5 °C rispetto ai livelli preindustriali non sarebbe sostenibile ed è assolutamente necessario avviare un processo di elettrificazione, ibridizzazione e di transizione alle celle a combustibile (*fuel cell*) ed a carburanti alternativi per tutti i veicoli registrati negli anni a venire (Olsson et al. 2019). Affinché un veicolo si possa effettivamente considerare "a emissioni zero" (*Zero Emission Vehicle, ZEV*) oltre a non emettere sostanze nocive nell'atmosfera, deve anche impiegare carburanti prodotti da fonti rinnovabili. Secondo degli studi infatti alcuni tipi di auto ibride (*Hybrid Electric Vehicle, HEV*), per esempio le ibride plug-in (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV*), sono ad oggi più ecologici delle auto elettriche (*Battery Electric Vehicle, BEV*), poiché gran parte dell'elettricità prodotta a livello mondiale non proviene ancora da fonti rinnovabili (Ahmadi et al. 2018). Tuttavia, con la diffusione dell'elettricità *green*, l'attenzione si potrà spostare sui veicoli *full electric*.

Mentre nei veicoli a combustibili fossili la catalisi è coinvolta nel sistema di post-trattamento dei gas di scarico, nei veicoli "a energia pulita" il fenomeno chimico sottende al funzionamento stesso della vettura. La catalisi coinvolge principalmente i veicoli a idrogeno ed a metanolo, ma non i veicoli BEV, solitamente dotati di una batteria agli ioni di litio. Queste ultime funzionano grazie allo spostamento degli ioni di litio dal catodo di litio all'anodo di grafite attraverso un elettrolita di sali di litio, con il rilascio di elettroni che azionano il sistema di propulsione del veicolo. Nonostante i motori elettrici non siano azionati per catalisi, le case produttrici di sistemi catalitici hanno investito molto nella ricerca per migliorarne il funzionamento sviluppando tecnologie come il composto NMC. L'NMC è un ossido di nichel, manganese e cobalto che viene aggiunto al catodo di litio per aumentare la sicurezza, la durata del ciclo di vita e la capacità di energia, nonché la stabilità chimica del motore elettrico (Miao et al. 2019).

La catalisi è invece centrale nei veicoli a celle a combustibile, cioè i veicoli ad idrogeno (*Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV*). Le celle a combustibile sono celle

galvaniche, cioè celle elettrochimiche che convertono energia chimica in energia elettrica. Esse funzionano grazie alla tecnologia PEM, cioè alla “membrana a scambio protonico”, anche detta “membrana ad elettrolita polimerico”. Le celle galvaniche convertono l’H₂ e l’O₂ in calore ed elettricità, cioè liberano elettroni per mettere in moto il veicolo. Nello specifico l’H₂ viene scisso per catalisi in elettroni, che vengono deviati verso il sistema di propulsione del veicolo, e ioni H⁺ (i protoni dell’H₂), che attraversando una membrana elettrolitica polimerica si spostano dall’anodo di una lega di Pt/Ru disperso su carbone attivo al catodo di Pt rivestito su carbone grafitico⁹⁹. Sul catodo la lega di Pt/Ru catalizza l’ossidazione degli ioni H⁺, che si combinano con gli elettroni provenienti dal sistema di propulsione producendo H₂O. Le reazioni che avvengono in una cella galvanica ad idrogeno sono quindi:

reazione anodica



reazione catodica

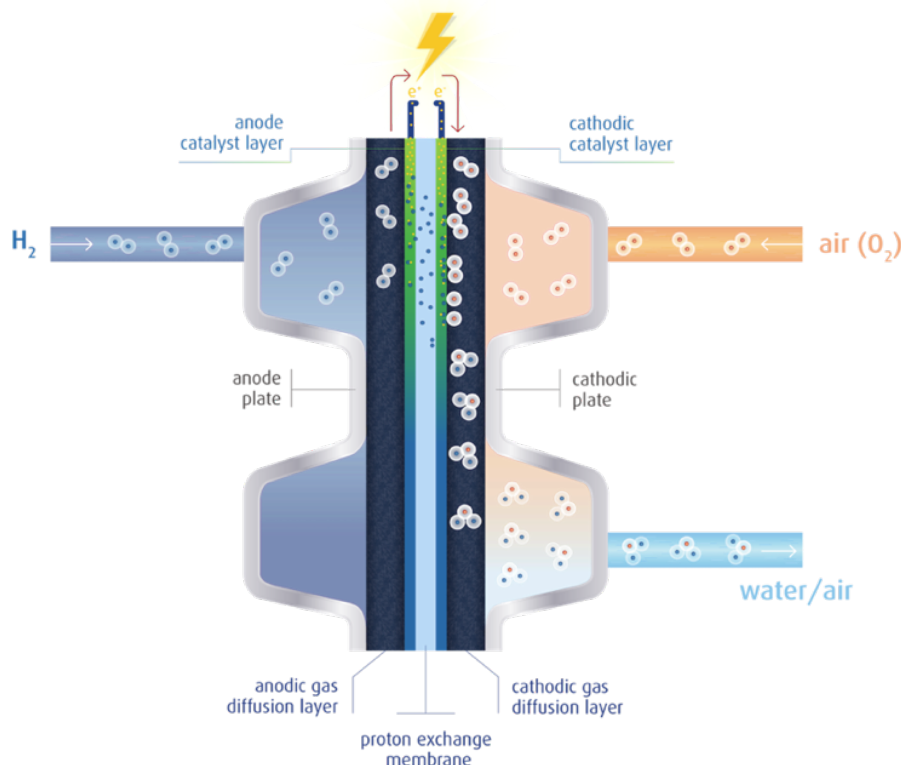
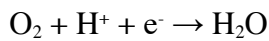


Figura 16: Struttura di una cella a combustibile

⁹⁹ Il carbone grafitico è necessario per evitare che il carbone si ossidi a contatto con l'aria.

L'anodo ed il catodo sono depositi su dei supporti porosi di *carbon cloth* o *carbon paper*, e sono ricoperti da un totale di circa 30 g di fase attiva. La membrana attraversata dai protoni, da cui il nome di “membrana a scambio protonico”, per passare dall'anodo al catodo è invece fatta di Nafion. Il Nafion, brevettato dall'azienda DuPont de Nemours, è un polimero solfonato, cioè ricavato da un sale dell'acido solforico, ad alta conduttività, difficilmente degradabile, resistente alle alte temperature e permeabile all'acqua. Le modalità di produzione dell'H₂ sono molto dibattute, in quanto alcune necessitano di elevate quantità di energia mentre altre rilasciano CO₂. Il primo caso è tipico del processo di elettrolisi dell'acqua, in cui vengono spezzati i legami molto saldi della molecola di H₂O. È un processo molto costoso che viene infatti adottato nei paesi in cui l'elettricità ha un prezzo più moderato. Tuttavia, quasi il 96% dell'idrogeno mondiale deriva da combustibili fossili e per la sua produzione viene dunque emessa CO₂: uno dei metodi più usati per produrre H₂ è lo *steam reforming*¹⁰⁰ del metano (CH₄) (Olah et al. 2018).

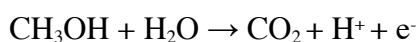
La produzione di H₂ è possibile anche grazie alla tecnologia dello *steam reforming* del metanolo (CH₃OH), gas derivato da CH₄, ed alla tecnologia delle celle a combustibile a metanolo diretto (*Direct Methanol Fuel Cell*, DMFC), entrambe analizzate nella teoria dell'*Economia del Metanolo* teorizzata da George A. Olah, chimico ungherese naturalizzato statunitense, vincitore del Nobel per la chimica nel 1994. Il metanolo è l'idrocarburo ossigenato liquido più semplice. È possibile produrlo tramite *steam reforming* del metano, processo non privo di impatto ambientale, tuttavia la ricerca si sta concentrando sulla sua produzione a partire dalla CO₂ di scarto industriale o direttamente dalla CO₂ presente nell'atmosfera, per esempio tramite l'utilizzo di un catalizzatore di Cu/ZnO/Al₂O₃: questo processo è di gran lunga più ecologico dello *steam reforming* del metano, in quanto, nonostante non sia un processo a impatto zero (comporta emissioni CO₂), consuma parte dei gas serra già presenti nell'atmosfera in una specie di riciclo di CO₂, e non implica le emissioni tipiche dell'estrazione di combustibili fossili dal sottosuolo (Olah et al. 2018). La produzione di metanolo a partire dalla CO₂ avviene tramite l'idrogenazione della CO₂: l'H₂ può essere generato tramite reazione WGS¹⁰¹ o tramite idrolisi dell'H₂O.

¹⁰⁰ In petrolchimica, processo di parziale ossidazione di idrocarburi liquidi o gassosi per mezzo di vapore acqueo, utilizzato per la produzione di gas di sintesi. (*steam reforming*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/steam-reforming>, 25-05-2021)

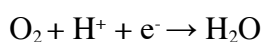
¹⁰¹ $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Il metanolo può essere impiegato nelle celle dei veicoli FCEV per produrre H₂, tramite reforming o tramite DMFC. Nel primo caso il metanolo viene riformato¹⁰² con H₂O per generare H₂ e CO₂. Nel secondo caso il metanolo può generare direttamente (*Direct Methanol Fuel Cell*) H₂ tramite ossidazione. Poiché in questo caso il veicolo non necessita di un *reformer*, questa tecnologia rende il veicolo più economico e leggero, semplificando nettamente il sistema. Le celle a metanolo diretto sono molto simili alle celle ad elettrolita polimerico (PEM), in quanto sono dotate anch'esse di elettrodi porosi, di carbone grafittico al catodo, e di carbone liquido all'anodo per facilitare la riduzione dell'O₂ e l'ossidazione del metanolo, di una membrana che può essere in Nafion e di una fase attiva di Pt ed Rh (Ronchetti 2008; Olah et al. 2018). Le reazioni che avvengono nelle celle DMFC sono riassumibili in:

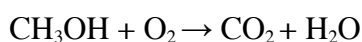
reazione anodica



reazione catodica



reazione complessiva

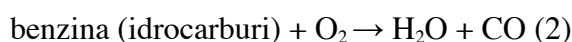
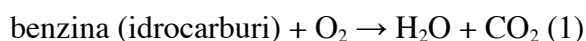


¹⁰² In tecnologia chimica, di prodotto sottoposto a reforming: benzina r., la benzina sottoposta a trattamento di reforming, termico o catalitico, allo scopo di modificarne alcune caratteristiche, e in particolare per aumentarne il numero di ottano; gas r., il gas ottenuto dalla conversione ossidante di idrocarburi liquidi o gassosi e costituito essenzialmente da una miscela di ossido di carbonio e idrogeno, utilizzabile per sintesi chimiche, come gas di città, ecc. (*riformato*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/riformato2/>, 25-05-2021)

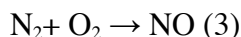
3.5 Reazioni chimiche

3.5.1 Motori a benzina

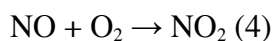
I tre principali inquinanti primari contenuti nei gas di scarico dei veicoli a benzina sono gli ossidi di azoto (NO_x), gli idrocarburi (HC) ed il monossido di carbonio (CO). L'ossidazione della benzina nel motore in CO_2 e H_2O è incompleta (1), perciò i gas di scarico contengono quantità significative di HC incombusti ed HC parzialmente combusti come aldeidi, chetoni e acidi carbossilici, insieme a grandi quantità di CO (2).



Inoltre, l'elevata temperatura raggiunta nel cilindro durante la combustione favorisce la reazione tra i principali componenti dell'aria, N_2 e O_2 , per dare NO.



Una parte di NO viene ossidata in NO_2 da O_2 nel tubo di scarico (4).

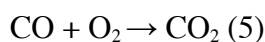


L'equilibrio NO - NO_2 dipende da fattori quali la temperatura, la pressione parziale dei gas e la durata del contatto tra i gas.

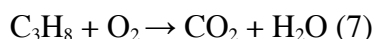
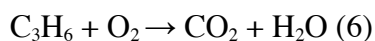
Date le reazioni di cui sopra, si può affermare che le componenti principali dei gas di scarico di un veicolo a benzina sono CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 , NO_x , CO e HC, e tra questi, CO, HC e NO_x , essendo altamente inquinanti, rappresentano l'obiettivo della catalisi del convertitore a tre vie (TWC).

Le principali reazioni che avvengono in un TWC sono:

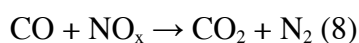
- l'ossidazione del monossido di carbonio:



- l'ossidazione degli idrocarburi, per esempio il propilene (C_3H_6) ed il propano (C_3H_8):

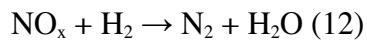
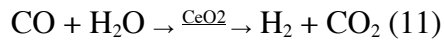


- la riduzione degli NO_x reagendo con CO e HC, che vengono ossidati:

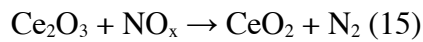
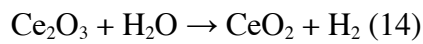
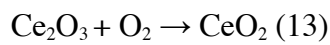


Le reazioni di ossidazione sono possibili grazie al platino, al palladio ed in parte anche grazie al rodio, mentre le reazioni riducenti sono possibili solamente grazie al rodio.

Oltre a queste reazioni, in un TWC viene prodotto anche l'H₂, tramite reazioni come la cosiddetta reazione di spostamento del gas d'acqua (WGS) tra CO e H₂O, che genera CO₂ e H₂. Questa reazione avviene sul *coating* di ossido di cerio nella sua forma ossidante CeO₂ (11). L'H₂ viene inoltre prodotto dalla reazione tra l'H₂O e l'ossido di cerio nella forma riducente Ce₂O₃ (14) e partecipa allo smaltimento degli NO_x (12).



Gli ossidi di cerio svolgono la funzione di OSC, cioè svolgono un'azione ossidante in condizioni di miscela grassa, mentre svolgono un'azione riducente in condizioni di miscela magra. Di seguito le reazioni che avvengono grazie all'OSC per esteso:



Le prime tre reazioni avvengono in presenza di O₂ in eccesso, mentre le ultime due avvengono quando $\lambda < 1$, con eccesso di carburante.

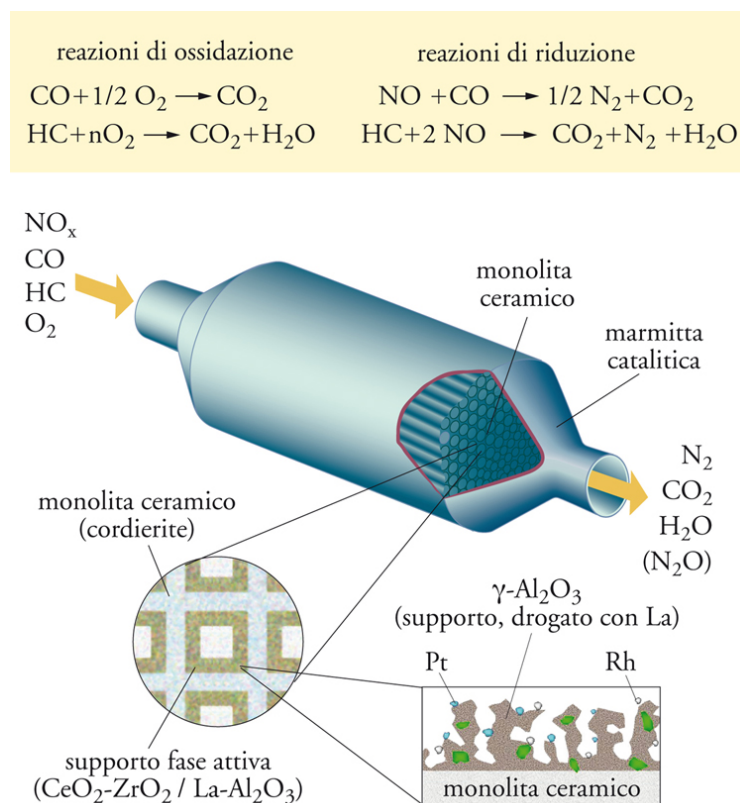


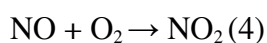
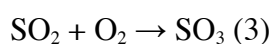
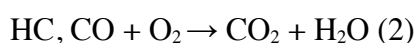
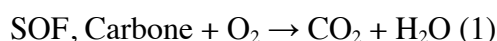
Figura 17: Reazioni e struttura di un convertitore TWC

3.5.2 Motori a diesel

Nonostante negli ultimi anni si sia iniziato a parlare di emissioni in fase solida anche per quanto riguarda i motori a benzina con l'avvento dei motori GDI, i motori a diesel sono da sempre stati caratterizzati dalla complessità delle emissioni. La fase solida delle emissioni dei motori a diesel ha sempre destato preoccupazione per le cospicue quantità di particolato che la compongono: la ragione va riscontrata nel processo di combustione e nel fatto che il carburante viene spruzzato nel cilindro da un iniettore nel momento in cui l'aria è stata compressa completamente dal pistone (Heck et al. 2009).

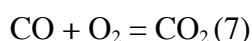
Le emissioni dei motori a diesel si presentano in tre fasi: gassosa, solida e liquida. La fase gassosa è composta dagli idrocarburi (HC) gassosi, dal monossido di carbonio (CO), dagli ossidi di azoto (NO_x) e dall'anidride solforosa (SO_2). L'insieme della fase solida e della fase liquida invece prende il nome di particolato (*particulate matter*, PM), o particolato totale (*total particulate matter*, TPM) ed è composta da solidi carbonacei (*soot*), ossidi inorganici, tra cui i solfati, e da liquidi organici. Questi ultimi, che prendono il nome di frazione organica solubile (SOF), sono derivati dal carburante incombusto e dagli oli lubrificanti, formano aerosol e vengono adsorbiti dalle particelle carboniose solide.

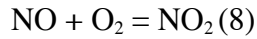
Il dispositivo principale per la filtrazione del particolato è il DPF catalizzato, che provvede all'ossidazione del PM, degli HC, del CO, dell' SO_2 (reazione indesiderata) e dell'NO. Gli NO_x favoriscono inoltre l'ossidazione del PM:



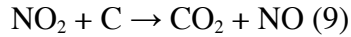
La reazione (3) può avvenire in tutti i dispositivi ossidanti in presenza di zolfo (S). In presenza di H_2O , l' SO_3 genera acido solforico (H_2SO_4), che va a sommarsi alle emissioni totali di PM.

Se invece il veicolo è dotato di un dispositivo CRT le reazioni sono quelle tipiche di un convertitore ossidante DOC e di un DPF non catalizzato. Il DOC svolge le seguenti funzioni:

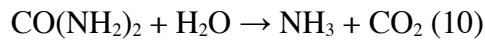




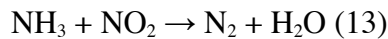
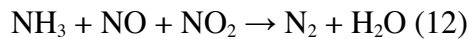
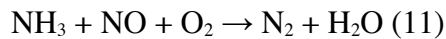
La reazione (8) è fondamentale nell'ambito del CRT in quanto la maggior parte degli NO_x prodotti nel motore si presentano nella forma NO , che deve essere convertito in NO_2 per poter smaltire il PM sul DPF:



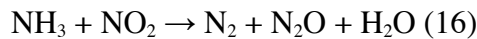
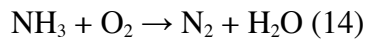
Dopo i dispositivi per definizione "ossidanti" entrano in gioco i convertitori per la riduzione degli NO_x . Quando viene percepito un eccesso di NO_x viene iniettata la soluzione di urea, che per idrolisi produce ammoniaca:



Grazie alla produzione di ammoniaca (NH_3) le seguenti reazioni di riduzione degli NO_x avvengono nel convertitore SCR:

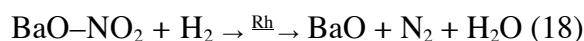
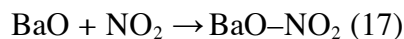


Anche le seguenti reazioni indesiderate potrebbero avere luogo nell'SCR:

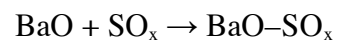


Le reazioni (14) e (15) sono reazioni indesiderate poiché l' NH_3 viene ossidata senza ridurre gli NO_x . Sono infatti tipiche del convertitore ASC per lo smaltimento dell' NH_3 eccesso, che infatti è dotato esso stesso di uno strato con funzione SCR nel caso di produzione di NO (15). La reazione (16) avviene invece in caso di eccesso di NO_2 e produce N_2O , un potente gas serra. La reazione (8) del convertitore DOC partecipa alla produzione di NO_2 , che può essere ridotto dall'SCR a temperature più basse rispetto all' NO .

Per ovviare ai problemi della conversione degli NO_x durante gli avviamenti a freddo vengono predisposte le trappole LNT, per cui sono valide le reazioni del convertitore TWC di cui sopra, nonché la funzione di immagazzinamento dell' NO_2 da parte degli ossidi di metalli alcalini depositi sul *coating* del dispositivo. I metalli alcalini rilasciano NO_2 durante la rigenerazione della trappola e l' NO_2 viene ridotto dal Rh presente nel TWC dell'LNT. Queste le reazioni:



Nel caso in cui gli ossidi di metalli alcalini vengano avvelenati dallo S avviene la seguente reazione:



Gli SO_x possono essere eliminati dalla trappola solo sopra ai 650 °C in ambiente grasso.

CAPITOLO 4

MATERIALI E COMPONENTI

Tutte le componenti di un convertitore catalitico devono attenersi a dei parametri ben precisi che permettano loro di svolgere la propria funzione con efficienza rispettando le esigenze di resistenza e durabilità previste dalla legge, per l'esattezza un lasso di tempo di dodici anni in Europa e quindici anni negli USA (Kozioł-Jarosz et al. 2017). Nonostante le tipologie di convertitori catalitici siano svariate viste le loro diverse finalità nell'ambito della depurazione dei gas di scarico dannosi, essi sono soggetti a condizioni di temperatura, pressione e vibrazione simili, e godono dunque di una struttura di base e di metodi di preparazione comuni, che possono essere adattati in base agli obiettivi del singolo dispositivo. Le componenti di base dei dispositivi catalitici sono l'involucro, cioè l'imballaggio del dispositivo, che deve essere altamente resistente alle pressioni provenienti dall'interno del convertitore, il materassino intumescente che preserva la struttura interna dalle vibrazioni, il substrato, a pellet o monolitico, ceramico o metallico, che è la struttura portante del convertitore, il *washcoat*, di ossidi metallici, zeoliti o perovskiti, che riveste il substrato al fine di fornire un miglior alloggiamento per i catalizzatori ed al fine di aumentare la prestazione di smaltimento dei gas nocivi, ed infine la fase attiva di metalli nobili, grazie a cui è possibile catalizzare le reazioni di ossidoriduzione che caratterizzano i dispositivi in questione.

4.1 L'involucro

Gli strati esterni del convertitore catalitico sono composti da un involucro metallico, un materassino di fibre sintetiche e delle guarnizioni alle estremità del dispositivo per ostacolare la fuoriuscita dei gas. Questi elementi applicano pressione sul convertitore per contrastare fenomeni di contropressione e di vibrazione che potrebbero destabilizzare il substrato. Inoltre, promuovono l'omogeneità del flusso dei gas all'interno del convertitore e forniscono isolamento termico al substrato consentendo il mantenimento del calore esotermico al suo interno in modo da raggiungere velocemente le temperature di *light-off*.

L'involucro esterno, o guscio, è solitamente composto di acciaio inossidabile ferritico, per esempio l'AISI 409¹⁰³. Questo materiale gode di un'elevata rigidità flessionale¹⁰⁴ e di un basso coefficiente di dilatazione termica (*Coefficient of Thermal Expansion*, CTE), e viene impiegato affinché l'involucro non si deformi alle alte temperature. Se l'involucro dovesse deformarsi la pressione esercitata sul convertitore potrebbe ridursi e l'integrità del convertitore potrebbe essere compromessa, perciò la temperatura dell'involucro non deve superare i 500 °C. Nel caso in cui si prevedano temperature superiori ai 600 °C viene impiegato l'acciaio inossidabile austenitico¹⁰⁵, molto diffuso nella costruzione dei monoliti metallici perché resistente alla corrosione ad alte temperature, che tuttavia ha un CTE più alto rispetto all'acciaio inox ferritico. Per questo motivo l'impiego di acciaio austenitico richiede di apportare modifiche alla densità del materassino, che riducendosi a causa dell'alto CTE dell'involucro porterebbe nuovamente alla riduzione della pressione esercitata sul convertitore (Heck et al. 2009).

Per garantire la rigidità dell'involucro si fa ricorso a degli elementi di rinforzo che sporgono verso l'esterno ma anche verso l'interno, particolarmente utili per gli involucri non circolari, sui quali la pressione non è omogenea. Gli involucri con sezione

¹⁰³ L'AISI è l'American Iron and Steel Institute, un'associazione di produttori nord americani di acciaio. La nomenclatura AISI classifica i tipi di acciaio in base alle loro caratteristiche.

¹⁰⁴ Per un corpo sollecitato a flessione, la capacità di resistere a tale sollecitazione e, specific. (anche modulo di r. flessionale), il prodotto del modulo di elasticità di esso per il momento d'inerzia della sua sezione trasversale rispetto all'asse neutro. (*rigidezza flessionale*, in "Dizionario delle Scienze Fisiche (1996)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/rigidezza_%28Dizionario-delle-Scienze-Fisiche%29/, 18-05-2021)

¹⁰⁵ L'acciaio austenitico è un acciaio con più dell'8% di nichel e ha una struttura cristallina cubica a facce centrate. Insieme agli acciai ferritici e martensitici, appartiene al gruppo degli acciai inossidabili (inox) e presenta un'ottima combinazione di proprietà meccaniche e resistenza alla corrosione. (*acciaio austenitico*, in "Borinox", in <https://it.edelstahl-haerten.de/materiale/acciaio-austenitico/>, 18-05-2021)

circolare sono infatti i più adatti, mentre quelli di forma ellittica, triangolare o a ovale schiacciato sono caratterizzati da una rigidità limitata e tendono a deformarsi.

4.2 Il materassino

Il materassino è il componente dei convertitori catalitici, soprattutto quelli ceramici, che viene posto nell'intercapedine tra l'involucro del convertitore ed il blocco del substrato, con l'obiettivo di esercitare una pressione sufficiente per dare stabilità al substrato, contenere i gas all'interno del dispositivo, isolare l'involucro in modo che non si surriscaldi ed assorbire le vibrazioni interne al convertitore (Kozioł-Jarosz et al. 2017). Quando i primi convertitori catalitici iniziarono ad essere commercializzati negli anni '70, lo strato interno all'involucro consisteva di una rete metallica di acciaio inossidabile, che non aveva funzione isolante, non esercitava la pressione necessaria e non fungeva da guarnizione contro la fuoriuscita dei gas. Con l'intensificarsi delle normative, l'azienda Treemme (3M Company)¹⁰⁶ progettò il materassino intumescente di ceramica con il marchio Interam™ nei primi anni '80 (Heck et al. 2009). Il materassino Interam™ era ottenuto dall'unione di fibre ceramiche, di un legante organico, e di vermiculite¹⁰⁷ non espansa, un materiale resistente che si espandeva ad alte temperature al fine di compensare la differenza di dilatazione termica tra il monolite ed il guscio metallico.

I materiali più spesso utilizzati oggi in merito ai materassini sono le fibre sintetiche inorganiche, che si dividono in amorfe e policristalline. Le fibre amorfe si dividono a loro volta in lane minerali e fibre ceramiche refrattarie. Le lane minerali, per esempio le lane di silicati alcalino-terrosi, consistono principalmente di ossidi di calcio (CaO), magnesio (MgO), silicio (SiO₂) e zirconio (ZrO₂), possono operare fino a 850 °C e sono classificate come "innocue" dal regolamento CLP (*Classification, Labelling and Packaging Regulation*)¹⁰⁸ dell'Unione Europea. Le fibre ceramiche refrattarie, che sono fatte per metà di ossidi di silicio (SiO₂) e per metà di ossidi di alluminio (Al₂O₃), e che

¹⁰⁶ Società statunitense chimica ed elettronica costituita nel 1902 con la denominazione Minnesota mining and manufacturing company; ha sede a Saint Paul, Minnesota. Inizialmente nota per il nastro autoadesivo trasparente scotch, attraverso acquisizioni di aziende e nuove iniziative si è dedicata alla fabbricazione di nastri magnetici, prodotti abrasivi, chimici e fotografici, prodotti e sistemi per la sicurezza, prodotti elettronici, elettrici e per l'informatica. (Treemme, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/treemme/>, 18-05-2021)

¹⁰⁷ Fillosilicato, appartenente al gruppo dei minerali argillosi, che, in seguito a riscaldamento, perde acqua, si rigonfia e assume forme vermicolari. Le v. trovano applicazioni nella tecnica delle costruzioni come isolanti termici e acustici per riempimenti di intercapedini e per la confezione di massetti, intonaci e manufatti leggeri. (vermiculite, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/vermiculite/>, 18-05-2021)

¹⁰⁸ Il regolamento CLP (CE) n. 1272/2008 allinea la precedente legislazione UE al GHS (Sistema mondiale armonizzato di classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche), un sistema delle Nazioni Unite per identificare le sostanze chimiche pericolose e informare gli utilizzatori in merito a tali pericoli. (in "Agenzia Europea per la Sicurezza e la Salute sul Lavoro, CLP - Classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele, in "osha.europa.eu", <https://osha.europa.eu/it/themes/dangerous-substances/clp-classification-labelling-and-packaging-of-substances-and-mixtures>, 18-05-2021")

possono raggiungere i 1100 °C, sono invece considerate potenzialmente cancerogene, perciò il loro uso è limitato. Il secondo tipo di fibre sintetiche inorganiche adibite alla preparazione dei materassini è quello delle fibre policristalline composte al 70% da Al_2O_3 e per la parte restante da SiO_2 : possono operare fino a 1100 °C e non sono soggette a restrizioni secondo il CLP.

Le fibre sintetiche inorganiche dei materassini possono essere prodotte seguendo un processo di filatura per fusione (*melt spinning*) nel caso delle fibre amorfe, oppure tramite il processo sol-gel, nel caso delle fibre policristalline. Nel processo di filatura per fusione il materiale viene prima fuso in un crogiolo di quarzo o ceramica e poi spostato su un rullo per il raffreddamento, o su due rulli che ruotano in senso opposto a velocità costante, dando vita a fibre amorfe con diametro tra 1 e 6 μm . Il metodo sol-gel invece produce fibre di circa 3 μm : partendo da una sospensione colloidale detta “sol”¹⁰⁹ si ottiene, tramite idrolisi e condensazione, un reticolo inorganico contenente una fase liquida interconnessa, cioè un “gel”¹¹⁰. Si procede con l’essiccazione del gel a circa 80 °C, tra i 200 ed i 500 °C i componenti organici iniziano a decomporsi e tra i 1250 ed i 1300 °C la ceramica si sinterizza formando cristalli, così creando fibre ceramiche policristalline.

I materassini possono essere classificati anche in base al contenuto di vermiculite nelle loro fibre ceramiche. La maggior parte dei materassini prodotti in passato erano intumescenti e contenevano vermiculite. Poiché in anni recenti si sono diffusi monoliti ceramici con pareti sempre più sottili, è stato necessario ricercare materassini con un’elevata capacità termica che esercitassero una pressione minore sul monolite (Kozioł-Jarosz et al. 2017). Si è dunque provveduto alla produzione di materassini con quantità limitate di vermiculite che esercitassero pressioni ridotte e con una maggior resistenza all’erosione. Dopo i materassini intumescenti con vermiculite e con ridotte quantità di vermiculite, la terza tipologia è quella dei materassini non intumescenti, cioè materassini privi di vermiculite che non si espandono all’aumentare delle temperature: sono tipici

¹⁰⁹ In chimica-fisica, sistema colloidale in cui la fase dispersa è solida mentre quella disperdente è, generalmente, liquida. I s. sono definiti mono- o poli-dispersi a seconda che le dimensioni delle particelle solide siano tutte uguali o no. A seconda della natura chimica della fase disperdente, inoltre, si hanno idrosol, organosol ecc.

Notevole importanza hanno assunto nel campo della preparazione dei materiali i metodi s.-gel, basati sul passaggio di un sistema dallo stato di s. allo stato di gel (transizione s.-gel). (*sol*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/enciclopedia/sol/>, 18-05-2021)

¹¹⁰ In chimica fisica, in contrapp. a sol, la fase semisolida di un sistema colloidale, nella quale il soluto costituisce la fase continua e il solvente la fase dispersa, e la cui formazione può avvenire per raffreddamento o evaporazione del sol, per aggiunta di elettroliti, o, nel caso di sostanze macromolecolari, per imbibizione con un solvente. (*gel*, in “Treccani”, in <https://www.treccani.it/vocabolario/gel/>, 18-05-2021)

quelli di fibre policristalline contenenti allumina, che resistono a temperature al di sopra dei 1000 °C, esercitano pressioni più basse ed uniformi e resistono ancor di più all'erosione. La quarta e ultima categoria è quella dei materassini ibridi a due strati, uno intumescente esterno ed uno non intumescente interno, con proprietà simili a quelle dei materassini non intumescenti ma ulteriormente accentuate (Bode 2002). Le configurazioni a più strati, fino a quattro, sono tipiche dei mezzi pesanti (Kozioł-Jarosz et al. 2017).

4.3 Il substrato

Il substrato, a pellet o monolitico, ceramico o metallico, è il fulcro del convertitore catalitico, e funge da supporto primario per il *washcoat* e per la fase attiva. I substrati a pellet, o granuli, già in uso nell'industria petrolifera, furono tra i primi ad essere introdotti negli anni '70 con la commercializzazione dei convertitori catalitici (Church et al. 1989). Poiché i primissimi dispositivi di questo tipo godevano di una superficie BET contenuta e di una densità apparente¹¹¹ elevata, caratteristiche controproducenti in situazioni quali l'avviamento a freddo e favorevoli all'avvelenamento dei catalizzatori, nei primi anni '80 furono ottimizzati riducendo la dimensione e la densità apparente dei granuli (Taylor 1984). I pellet erano fatti di γ -allumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ed erano reperibili sia in forma sferica sia in forma cilindrica. Venivano erroneamente selezionati per la loro resistenza all'abrasione, la promozione del flusso dei gas¹¹² e la velocità di diffusione dei gas nei pori dei granuli (Heck et al. 2009). In realtà l'attrito tra i granuli causato dagli sbalzi di pressione e le alte temperature tipiche dei convertitori portavano alla loro corrosione e dunque alla perdita di materiale catalitico (Acres et al. 1976). I pellet potevano tuttavia essere sostituiti dopo una certa percorrenza chilometrica, oppure nel caso di episodi di avvelenamento dovuti all'uso di carburanti piombati (McCarthy 2007).

Per svolgere al meglio la propria funzione un substrato deve possedere le seguenti caratteristiche:

1. Inerzia termica¹¹³ e capacità termica limitate¹¹⁴
2. Elevata conduttività termica
3. Elevata superficie BET
4. Contropressione minima
5. Alto rapporto superficie-volume
6. Buona resistenza allo stress termico e meccanico

¹¹¹ Il peso di un'unità di volume di polvere solitamente espresso in g/cm^3 , kg/m^3 , o g/100 ml . (*densità apparente*, in "Kalyankar, S.D., Deshmukh, M.A., Chopde, S.S., Khedkar, C. D., Lule, V.K., Deosarkar, S.S. (2016), Milk Powder. In Caballero B., Finglas P.M, Toldrá F. (a cura di), *Encyclopedia of Food and Health*, Oxford: Academic Press, 724–728")

¹¹² Proprietà che favorisce il contatto tra i reagenti ed i metalli nobili.

¹¹³ La tendenza dei corpi a mantenere la propria temperatura iniziale durante mutamenti della temperatura ambiente e anche durante somministrazioni di calore; generic. parlando, è tanto maggiore quanto minore è la conduttività termica e quanto maggiore è la capacità termica. (*inerzia termica*, in "Dizionario delle Scienze Fisiche (1996)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/inerzia_%28Dizionario-delle-Scienze-Fisiche%29/, 18-05-2021)

¹¹⁴ Consentono di raggiungere velocemente la temperatura di light-off.

Alla fine degli anni '70 emerse una tipologia di substrato che soddisfaceva tutti questi requisiti: era il monolite a nido d'ape, così definito per le numerose celle, o canali, che lo componevano conferendogli una sembianza d'alveare. Le celle del monolite sono parallele e di varia forma: quadrata, sinusoidale, triangolare, esagonale, rotonda ecc... La forma delle celle dipende dall'aspetto del substrato che si vuole valorizzare, per esempio le celle esagonali apportano una maggiore inerzia termica e superficie frontale aperta (*Open Frontal Area*, OFA). In generale le celle quadrate offrono il miglior compromesso (Heck et al. 2009).

Il monolite a nido d'ape può essere ceramico, cioè composto da ossidi inorganici, o metallico. Mentre il monolite ceramico veniva già utilizzato negli impianti di acido nitrico dal 1966, il monolite metallico proveniva dal settore della combustione catalitica (Govender et al. 2017). Rispetto al substrato a pellet, il monolite a nido d'ape era più leggero, si scaldava più velocemente, generava una minor contropressione e consentiva velocità spaziali¹¹⁵ maggiori grazie ad una maggior superficie frontale, era più resistente a fenomeni di stress termico e meccanico, e non era colpito dal problema dell'attrito tra i granuli (Lambert 2019).

Nonostante alla fine degli anni '70 alcune case automobilistiche, come la GM, propendessero ancora per i convertitori a pellet, aziende quali Ford e Chrysler iniziarono ad adottare convertitori dotati di monolite a nido d'ape, spinte dai problemi riscontrati nell'utilizzo dei pellet e dall'inasprimento delle restrizioni ambientali previste dal Clean Air Act. Tra i primi produttori di monoliti a fine automobilistico comparivano la W.R. Grace, la American Lava Corporation e la Corning Glass Works, ma solo il monolite di quest'ultima compagnia avrebbe posto le basi per uno dei substrati più diffusi nei convertitori catalitici al giorno d'oggi (Heck et al. 2009). Inizialmente la Corning sviluppò un monolite in vetroceramica, con marchio Cercor®, pensato per i rigeneratori¹¹⁶ delle turbine a gas, che era ottenuto avvolgendo strati alterni, piatti e corrugati, di carta cellulosa ricoperta di uno *slurry* vetroso fino a formare un cilindro. Il monolite Cercor® era adatto all'uso automobilistico ma ci si rese presto conto che la sua produzione in larga scala sarebbe

¹¹⁵ Nel contesto dei convertitori catalitici, si riferisce al volume geometrico del convertitore diviso per la portata dello scarico a 20 °C e 1 atm. (in "Lambert, C. K. (2019). Current state of the art and future needs for automotive exhaust catalysis. *Nature Catalysis*, 2(7), 554-557")

¹¹⁶ Scambiatore di calore con accumulazione (detto anche accumulatore di calore alternativo), usato per recuperare il calore sensibile di un gas di scarico al fine di preriscaldare il combustibile, l'aria comburente, ecc. (*rigeneratore*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/rigeneratore/>, 20-05-2021)

stata troppo dispendiosa. Dopo approfondite ricerche, la Corning sviluppò un monolite efficiente sia dal punto di vista funzionale sia dal punto di vista economico: il monolite ceramico di cordierite Celcor®.

Il monolite in cordierite sintetica è caratterizzato da un basso CTE, rispetto per esempio alla mullite o all' α -allumina, che lo rende resistente allo stress termico, e da una notevole integrità meccanica. Il suo punto di fusione è oltre i 1300 °C, ben oltre le temperature operative dei convertitori catalitici automobilistici. È resistente nei confronti di sostanze che possono danneggiare il materiale catalitico dei convertitori, quali gli ossidi di zolfo (SO_x) e gli oli lubrificanti provenienti dal motore. Mentre i pori del monolite sono moderati nelle dimensioni (circa 3-4 μm) per legare perfettamente con il *coating*, una configurazione tipica cpsi-parete è la 400/6, cioè un monolite con 400 cpsi e 0.15 mm (6 mil) di spessore delle pareti. Questa configurazione, rispetto alle configurazioni originali con un minor numero di celle e con pareti più spesse (e.g. 300 cpsi/12 mil), consente al monolite di avere una superficie di area geometrica (GSA) maggiore, di scaldarsi più in fretta e di avere una perdita di carico (*pressure drop*)¹¹⁷ minore (Bode 2002).

Il substrato monolitico in cordierite si ottiene per estrusione¹¹⁸ o per corrugazione a partire da varie materie prime: di base il *kaolin*, il talco e l'allumina, con la possibile aggiunta di idrossido di alluminio ed ossido di silicio. Se si procede per estrusione, il metodo più diffuso, si attraversano cinque fasi: prima gli ossidi solidi vengono essiccati, vengono mischiati a dei plastificanti e ad altri additivi, poi la sostanza ottenuta viene estrusa tramite delle matrici apposite, essiccata ed infine sottoposta a cottura fino ad ottenere una struttura uniforme (Govender et al. 2017). Durante l'estrusione i cristalli della caolinite¹¹⁹ vengono orientati (orientamento anisotropico) per modificare il CTE del substrato (Bode 2002). Se invece si opta per

¹¹⁷ In un circuito idraulico o aeraulico è la differenza di pressione tra due punti, derivante da attriti che si generano nel moto del fluido (liquido o gas). (*perdita di carico*, in "Mancini F. (2012), *Perdite di carico*, in "teknoring.com", <https://www.teknoring.com/wikitecnica/impianti/perdite-di-carico/>, 19-05-2021")

¹¹⁸ Lavorazione per deformazione plastica eseguita su materiali [...] al fine di ottenere barre, tubi, profilati vari, capsule; si effettua esercitando sul materiale informe (massello) [...] elevate forze di compressione [...] cosicché il materiale, spinto dal mandrino in una matrice o in una filiera, si deforma assumendo la forma voluta. (*estrusione*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/estrusione>, 19-05-2021)

¹¹⁹ Minerale bianco o di colori diversi se impuro, silicato idrato di alluminio. Essenzialmente composto di c. è il caolino, roccia incoerente di colore da bianco a giallo grigiastro. Ha origine sedimentaria o, più frequentemente, per la trasformazione in loco di rocce feldspatiche (caolinizzazione), che può prodursi in sede idrotermale per l'azione di acque calde acide ascendenti, o anche tramite acque fredde contenenti anidride carbonica; l'azione si esplica con l'asporto di cationi alcalini o alcalino-terrosi sotto forma di sali solubili. Il caolino è materia prima per l'industria dei refrattari, per la fabbricazione di prodotti ceramici e della carta. (*caolinite*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/caolinite/>, 19-05-2021)

il processo di corrugazione, il substrato viene impregnato in uno *slurry* di ossidi inorganici, sali, leganti organici e plastificanti, rinforzato con delle fibre, ondulato, accatastato ed infine calcinato (Cybulski et al. 1994).

Nonostante i monoliti in cordierite siano i più diffusi, alcuni dispositivi, come il DPF, fanno uso di monoliti in schiuma ceramica. Inizialmente le schiume ceramiche venivano utilizzate per filtrare i metalli fusi e i gas alle alte temperature. Rispetto alla cordierite le schiume facilitano il trasferimento di calore ed il regime turbolento¹²⁰, cioè il passaggio, dei gas grazie alla loro elevata porosità (Govender et al. 2017). Si ottengono immergendo in uno *slurry* (ossidi di alluminio, silicio ecc...) schiume organiche a celle aperte¹²¹, per esempio schiume di poliuretano, rimuovendo lo *slurry* in eccesso e cuocendo la schiuma ottenuta.

La seconda tipologia di substrato monolitico è quella dei monoliti metallici. Mentre i monoliti ceramici sono avvantaggiati da migliori porosità, aderenza del *washcoat* al substrato e stabilità termica, i monoliti metallici possiedono le seguenti proprietà: migliori OFA, stabilità meccanica, perdita di carico, conduttività termica ed una buona densità di celle grazie a pareti più sottili (Govender et al. 2017; Heck et al. 2009). Inizialmente il problema principale dei monoliti metallici era la scarsa aderenza del *washcoat* alla loro superficie e la corrosione dell'acciaio a temperature sostenute. La soluzione è stata riscontrata nell'uso di materiali metallici con una maggiore aderenza e nel pretrattamento della superficie del monolite (Heck et al. 2009). I materiali più ricorrenti sono il nichel, il FecralloyTM (o lega FeCrAl), una lega refrattaria di ferro e cromo contenente alluminio, l'acciaio inox austenitico AISI 304 e le schiume di alluminio. Il metodo più usato per la preparazione dei monoliti metallici è la corrugazione. Vengono adottati soprattutto con funzione di SCR negli impianti elettrici, negli aerei per l'abbattimento dell'ozono, nelle turbine a gas per l'abbattimento del monossido di carbonio e nei veicoli ad alte prestazioni, che

¹²⁰ La parola "regime" può alludere alle modalità di andamento di un fenomeno nello spazio oltreché nel tempo [...]. Si ha il regime turbolento quando la massa fluida è disseminata di molti piccoli e intensi vortici che variano di posizione e di forma e si susseguono in modo rapido e confuso, in modo che la velocità del fluido subisce variazioni innumerevoli da punto a punto e da istante a istante. (*regime turbolento*, in "Giovanni Giorgi - Enciclopedia Italiana (1935)", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/regime%28Enciclopedia-Italiana%29/>, 19-05-2021)

¹²¹ Le schiume a celle aperte hanno una microstruttura complessa: sono costituite da una rete interconnessa di celle dovuta al processo di schiumatura. Le celle constano di poliedri irregolari con un numero di facce tra 9 e 17 [...]. Il materiale è concentrato nei legamenti [...] e nei nodi dove si intersecano [le celle]. (in "Jang, W. Y., Kraynik, A. M., & Kyriakides, S. (2008), "On the microstructure of open-cell foams and its effect on elastic properties", *International Journal of Solids and Structures*, 45(7-8), 1845-1875")

necessitano di una bassa perdita di carico e di un'elevata conduttività termica per avere tempi di risposta minimi.

Infine, esistono monoliti, detti “monoliti catalitici”, estrusi direttamente dai materiali solitamente adibiti al rivestimento (*coating*) del substrato, per esempio gli ossidi di vanadio e di titanio con l'aggiunta di additivi di ossidi di silicio, oppure additivi organici come l'alcol polivinilico, usati in funzione di plastificanti per favorire il processo di estrusione (Heck et al. 2009). L'estrusione dei monoliti catalitici è paragonabile a quella dei monoliti ceramici, ma la calcinazione non deve avvenire a temperature troppo alte affinché gli ossidi metallici non si sinterizzino. Poiché l'intero monolite svolge la funzione di catalizzatore, le quantità di componenti attive impiegate sono maggiori rispetto a quelle di un monolite non catalitico dotato di *coating*. I monoliti catalitici possono anche essere ricavati dalle zeoliti, e sono spesso usati con funzione di SCR per l'abbattimento degli NO_x (Govender et al. 2017).

4.4 Il washcoat

Il *washcoat*, anche detto *coating*, è il rivestimento del substrato che funge da supporto secondario¹²², la cui struttura porosa viene impregnata con la componente attiva catalitica. Il *washcoat* è composto da materiale inorganico ad elevata area superficiale, che fornisce una miglior aderenza ed una miglior dispersione delle specie attive, e garantisce l'attività, la selettività e la durabilità del convertitore catalitico (Heck et al. 2009). Apponendo il *washcoat* sul substrato si vanno a modificare alcune caratteristiche del substrato stesso: per esempio, lo spessore del *washcoat* può ridurre la OFA, portando alla riduzione della velocità spaziale dei gas ed all'aumento della perdita di carico del monolite. Altri fattori da tenere in considerazione sono il pH e la concentrazione della soluzione (o dello *slurry*), da cui dipendono il grado di aderenza ed omogeneità del rivestimento (Govender et al. 2017). Le tecniche per far aderire il *washcoat* al substrato sono varie, e dipendono dal materiale del supporto primario: i monoliti metallici possono essere rivestiti per anodizzazione¹²³ od ossidazione dell'alluminio, con rivestimento di *slurry* o per deposizione chimica da vapore (CVD)¹²⁴, mentre le tecniche più diffuse per i monoliti ceramici sono il rivestimento con *coating* colloidale, il metodo del sol-gel ed il rivestimento con *slurry*.

I metodi del *coating* colloidale e del sol-gel funzionano tramite il riempimento dei pori del monolite. Lo stato colloidale è uno stato in cui una sostanza ("fase dispersa"), solida, liquida o gassosa, è dispersa in un'altra sostanza ("fase disperdente"), anch'essa solida liquida o gassosa. Per esempio, un *washcoat* di γ -allumina si può ottenere grazie alla calcinazione di una soluzione colloidale di polvere di böhmite, ovvero un minerale ed ossido basico di alluminio, e di acido cloridrico (HCl), oppure a partire dalla böhmite

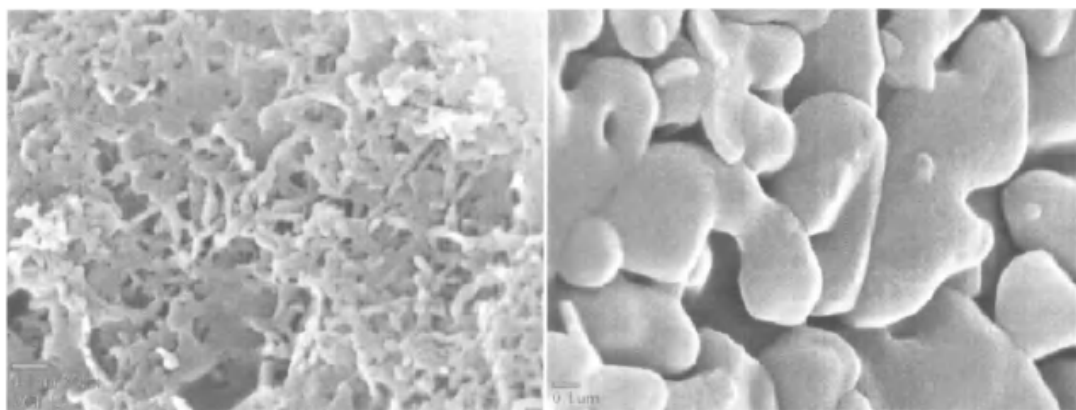
¹²² Il supporto primario è il substrato.

¹²³ L'ossidazione anodica o anodizzazione [dell'alluminio] è un processo di trasformazione elettrochimica della superficie di un oggetto di alluminio. Tramite bagno di elettrolisi, ponendo all'anodo l'oggetto, la superficie viene trasformata in uno strato di ossido, indelebilmente aderente, dallo spessore variabile tra 5 e 25 μm per le anodizzazioni protettive e da 20 a 150 μm per le anodizzazioni tecniche. Tale strato di ossido, generato in modo controllato, conferisce resistenza alla corrosione, durezza superficiale [e] tenuta alle sollecitazioni. (anodizzazione, in "New Oxidal, Protezione dell'alluminio tramite processi di ossidazione anodica, in "alluminioanodizzato.com", https://www.alluminioanodizzato.com/ossidazione-anodica?gclid=Cj0KCQjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8DMYXnceEMcNpb8EWZCLbgiONFDwO8UIHGTIbBEpZhCurBZGEkaVOcaAmMsEALw_wcB, 20-05-2021")

¹²⁴ In fisica dello stato solido, sigla di chemical vapour deposition, tecnica di deposizione in cui specie gassose reagiscono chimicamente per formare una o più fasi condensate e prodotti gassosi. Costituisce un processo di sintesi molto importante per ottenere materiali di alta purezza, in forma di polveri e cristalli, e per rivestimenti di substrati. In particolare, questi ultimi agiscono come seme cristallino, permettendo così la crescita di una struttura ordinata di un monocristallo. (CVD, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/enciclopedia/cvd/>, 20-05-2021)

commerciale peptizzata, cioè in soluzione colloidale, sciolta in soluzione acida (Govender et al. 2017). Come già accennato nell'ambito del materassino, nel metodo sol-gel, partendo da un sol, una soluzione colloidale, tipicamente di alluminio, che in quest'istanza viene depositata sul monolite, si ottiene un gel, un reticolo inorganico contenente una fase liquida interconnessa. Per ricoprire il monolite con il sol, esso viene immerso nella soluzione colloidale, i canali vengono svuotati della soluzione in eccesso ed infine il monolite con *washcoat* viene essiccato e calcinato. Questo metodo è più efficiente del metodo del *coating* colloidale semplice poiché permette di ottenere un miglior riempimento dei pori ed in quanto l'ossido di alluminio si forma direttamente sulla superficie delle celle del substrato (Govender et al. 2017).

Mentre per le soluzioni colloidali si parla di nanoparticelle, nel caso della tecnica dello *slurry* le particelle sono più grandi e misurano tra i 2 ed i 5 μm . Tramite questo metodo si ottengono particelle, per esempio di γ -allumina, della dimensione desiderata attraverso macinazione a umido. Un acido, e.g. l'acido nitrico, viene usato per disperdere l'allumina, dopodiché il monolite viene immerso nello *slurry*, cioè la miscela liquida con solidi in sospensione appena ottenuta, il liquido in eccesso viene rimosso, ed il monolite viene essiccato e calcinato. L'acido nitrico aiuta a stabilizzare lo *slurry* e facilita l'assorbimento dell'allumina. Rispetto ai metodi colloidali, il rivestimento con *slurry* consente di effettuare una minor quantità di immersioni del substrato nella soluzione di *washcoat* e garantisce una miglior aderenza del *washcoat* al substrato. Tuttavia, avendo lo *slurry* uno spessore maggiore rispetto alle soluzioni colloidali, può comportare gli svantaggi tipici di un *washcoat* più voluminoso, quali una minor superficie frontale aperta (Govender et al. 2017).



(a)

(b)

Figura 18: La γ -allumina (a) e l' α -allumina (b) al microscopio elettronico a scansione

4.4.1 L'allumina

Per convertire la totalità dei gas di scarico che attraversano il convertitore catalitico è necessario che la componente attiva sia depositata su un *washcoat* con una GSA molto elevata, al fine di aumentare il più possibile il rapporto superficie-volume del monolite rivestito. I materiali che soddisfano questo requisito sono principalmente la γ -allumina, le zeoliti, gli ossidi di silicio e di titanio, e le perovskiti.

L'allumina (Al_2O_3) è stata uno dei primi materiali usati per impregnare il substrato delle marmitte catalitiche ed è tutt'oggi in assoluto il materiale più diffuso per la preparazione del *washcoat*. È un ossido anfotero¹²⁵, cioè si può presentare con diversi livelli di pH e di conseguenza esiste in forme idrate sia derivate da soluzioni acide sia derivate da soluzioni basiche, per esempio le specie triidrate, come la gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) con pH = 11, e le specie monoidrate, come la böhmite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) con pH = 9. In seguito a calcinazione, nel *washcoat* di Al_2O_3 si formano reti di catene polimeriche in cui il diametro delle particelle di Al_2O_3 misura 20-50 Å¹²⁶, cioè 2-5 nm.

Inizialmente furono sperimentate sia la χ -allumina ($\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$) sia la γ -allumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), la prima ottenuta per disidratazione della gibbsite, e la seconda per disidratazione della böhmite. Tuttavia, la $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$ non si dimostrò funzionale in condizioni estreme, per esempio con il convertitore in posizione *close-coupled*, dove le temperature sono più alte, poiché si trasformava per disidratazione in α -allumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) passando per la fase k-allumina ($k\text{-Al}_2\text{O}_3$). Questa trasformazione di fase comportava un cambiamento radicale nella struttura cristallina della $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$. Anche la $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ si trasformava in $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, ma questo fenomeno si verificava a temperature più elevate e le fasi intermedie della trasformazione erano la δ e la θ , che apportavano modifiche meno radicali alla struttura dei cristalli (Acres et al. 2004). Nonostante la trasformazione di $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ in $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ sia meno grave, essa comporta una notevole sinterizzazione di materiale e di perdita di porosità e di superficie, dai 100-200 m²/g della $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ agli 1-5 m²/g dell' $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Heck et al. 2009). Durante la

¹²⁵ In chimica, sostanza a. (o anfiprotica), sostanza capace di funzionare sia come acido sia come base e per la quale esistono, in soluzione, due dissociazioni, una basica e una acida; si comportano in questo modo l'acqua, molti alcoli, gli aminoacidi, ecc. (*anfotero*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/anfotero/>, 21-05-2021)

¹²⁶ [Der. del cognome di A.J. Ångström] Unità di misura di lunghezza, non SI, pari a 10^{-10} m = 10 nm; simb. Å. (*ångström*, in "Dizionario delle Scienze Fisiche (1996)", in https://www.treccani.it/enciclopedia/angstrom_%28Dizionario-delle-Scienze-Fisiche%29/, 21-05-2021)

trasformazione le specie catalitiche attive vengono occluse all'interno dei pori del *washcoat* e dunque disattivate, impedendo il contatto con i reagenti gassosi che di conseguenza non vengono depurati.

Uno degli aspetti negativi del supporto di Al_2O_3 , ma anche di altri materiali adatti alla preparazione del *washcoat*, è la possibile reazione degli ossidi con sostanze contenute nei carburanti e negli oli lubrificanti utilizzati nel motore dei veicoli, in primis il fosforo, lo zinco e lo zolfo, che causano l'ostruzione della struttura porosa dell' Al_2O_3 e l'avvelenamento della fase attiva di metalli nobili. Il fosforo e lo zinco sono presenti negli oli lubrificanti usati contro l'usura del motore, come l'alchil ditiofosfato di zinco (ZDDP), e nell'olio proveniente da fenomeni di *blow-by*¹²⁷ del motore, che si può depositare sulla superficie del supporto secondario sotto forma di pellicola di anidride fosforica (P_2O_5) impedendo ai reagenti di raggiungere i catalizzatori all'interno dei pori del *washcoat* (Heck et al. 2009). L'avvelenamento da fosforo si può risolvere riducendo i livelli di ZDDP negli oli lubrificanti. Anche lo zolfo, che a differenza del fosforo e dello zinco penetra in profondità nel *washcoat*, può inibire le reazioni di ossidoriduzione dei catalizzatori: per esempio gli SO_x possono reagire con il *washcoat* di $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ formando solfato di alluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), un materiale voluminoso con densità ridotta, che in ambiente grasso può ridursi in acido solfidrico (H_2S). Una possibile soluzione all'avvelenamento da zolfo è creare un *washcoat* di ossido di titanio (TiO_2) e $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dopata con litio (Li) (Heck et al. 2009). Come l'ossido di silicio (SiO_2), il TiO_2 è uno stabilizzante che non reagisce con lo zolfo, il che lo rende adatto ai veicoli dei paesi in cui si fa ancora uso di carburanti non purificati. Nella sua configurazione più nota il TiO_2 funge da supporto per l'anidride vanadica (V_2O_5) ed il triossido di tungsteno (WO_3) nei convertitori SCR.

Gli stabilizzanti svolgono le funzioni più disparate, tra cui ostacolare la sinterizzazione della $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ in $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ e bloccare la reazione del *washcoat* con sostanze avvelenanti. Oltre all'ossido di titanio compaiono gli ossidi di lantanio (La_2O_3), bario (BaO) e cerio (CeO_2). Per esempio, il cerio, l'elemento più abbondante

¹²⁷ Con questo termine si indica il trafileamento gassoso [cioè la perdita di gas] che ha luogo tra i segmenti e la canna del cilindro. Nei motori in buone condizioni meccaniche esso è indicativamente dell'ordine di 0,4 - 0,6% (del flusso gassoso totale). Con il passare dei chilometri, in seguito all'usura dei segmenti e delle canne dei cilindri, esso tende ad aumentare. La diminuzione della pressione di compressione che ne consegue determina uno scadimento delle prestazioni. L'elevata quantità di gas che in questo caso trafile nel basamento fuoriesce da quest'ultimo attraverso il sistema di sfiato (che per motivi ecologici è collegato al sistema di aspirazione in modo da permettere il ritorno dei vapori in questione all'interno dei cilindri ove essi vengono bruciati). (*blow-by*, in "Clarke C. (1995), *Nuovo dizionario tecnico automobilistico*, Roma: Conti Editore").

delle terre rare, svolge una funzione fondamentale nei convertitori catalitici, quella di OSC, cioè di “magazzino per l’ossigeno”, immerso nel *washcoat* di $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (50:50 wt. %)¹²⁸. Il Ce consente il funzionamento dei convertitori che operano in prossimità del valore λ , cedendo O_2 in condizioni di miscela grassa e acquistando O_2 in condizioni di miscela magra. Per una maggior efficienza il CeO_2 viene spesso abbinato all’ossido di zirconio (ZrO_2), in quanto il CeO_2 migliora l’attivazione del catalizzatore di platino, mentre lo ZrO_2 anticipa l’attivazione del catalizzatore di palladio.

¹²⁸ Rappresenta il rapporto percentuale tra il peso (*weight*, wt.) di CeO_2 e di $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

4.4.2 Le zeoliti

Un altro materiale adibito alla preparazione del supporto secondario è la zeolite, o meglio, il gruppo delle zeoliti. Le zeoliti sono alluminosilicati sintetici o naturali, in cui gli ossidi di alluminio (Al_2O_3) e di silicio (SiO_2) sono disposti in una struttura cristallina a tetraedri. Le zeoliti sono definite “setacci molecolari”, in quanto godono di canali, detti micropori, che misurano tra i 3 Å (0.3 nm) e gli 8 Å (0.8 nm), grandezze per l'appunto dell'ordine molecolare. I setacci molecolari trovano impiego in vari dispositivi catalitici, quali gli SCR, in conseguenza della loro capacità di filtrazione, area superficiale specifica, assorbività, selettività, *shape selectivity*¹²⁹ ed intervallo di temperatura di attivazione (Xu et al. 2019). Nella struttura a tetraedro sono presenti siti cationici, generati da Al e compensati da ioni alcalini o alcalino-terrosi esterni al reticolo, facilmente scambiabili¹³⁰ grazie ai loro deboli legami con la struttura:

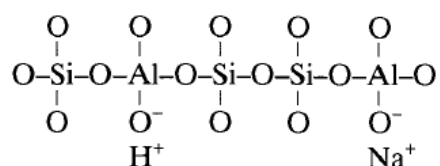


Figura 19: Struttura di base delle zeoliti, con i cationi H^+ e Na^+

Il rapporto tra SiO_2 ed Al_2O_3 è rilevante per la determinazione del numero di siti cationici scambiabili, e di conseguenza del numero di siti attivi: più aumenta il rapporto $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, minori sono i cationi di Al e minori sono i siti attivi disponibili. Nonostante verrebbe spontaneo pensare che sia meglio ridurre tale rapporto aumentando la quantità di Al_2O_3 per aumentare i siti attivi, si è dimostrato che una

¹²⁹ Espressione usata per qualificare un particolare tipo di catalisi (catalisi per selettività di forma), caratteristica di alcuni catalizzatori solidi zeolitici. La catalisi per *shape selectivity* è basata sul fatto che alcune zeoliti possiedono all'interno della struttura cristallina una rete di pori, cavità e canalicoli di dimensioni uniformi e simili a quelle delle molecole organiche semplici. È all'interno di queste cavità che si trovano i siti attivi responsabili delle proprietà catalitiche del materiale e hanno pertanto luogo le reazioni chimiche desiderate. Questa caratteristica fa sì che, a seconda della dimensione relativa delle molecole e della sezione dei pori, una certa specie chimica possa o meno accedere ai canali, muoversi al loro interno o uscirne. In presenza di diverse specie chimiche, e quindi di diverse possibili reazioni tra loro in competizione, questa limitazione geometrica (o sterica) esercita un'azione di selezione consentendo il passaggio di alcune molecole e non di altre, e pertanto ostacola o impedisce che avvengano alcune reazioni rispetto ad altre. [...] Tra le zeoliti che funzionano con questo meccanismo, una delle più importanti è la ZSM-5. (*shape selectivity*, in “Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008)”, in [https://www.treccani.it/enciclopedia/shape-selectivity_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/shape-selectivity_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/), 22-05-2021)

¹³⁰ Si dice che le zeoliti sono “scambiate” con gli ioni metallici, per esempio di Cu e Fe, che contribuiscono a determinare la funzione catalitica delle zeoliti stesse.

maggior quantità di SiO₂ è più vantaggiosa, in quanto aumenta la stabilità termica del *washcoat* (Heck et al. 2009).

La capacità catalitica dei setacci molecolari non dipende solo dalla componente attiva con cui sono scambiate, ma anche dalla loro struttura. Le zeoliti infatti sono molto numerose e si distinguono principalmente per la dimensione dei pori, che conferisce loro proprietà diverse: possono essere microporose, mesoporose o macroporose. Tra le zeoliti microporose troviamo la famiglia delle ZSM-5, sintetizzate per la prima volta negli anni '70 dalla Mobil Corporation. Le ZSM-5 sono caratterizzate da stabilità termica, distribuzione uniforme dei pori, facilità di scambio di ioni e *shape selectivity*. Tuttavia, le zeoliti microporose sono molto complesse e, poiché i loro micropori sono molto piccoli, possono ostacolare il trasferimento di massa (*mass transfer*) dei reagenti, cioè il flusso dei gas, nella loro struttura. Questo fenomeno può portare alla deposizione di carbone sulle componenti attive ed alla reazione delle zeoliti con solfiti e solfati. Le zeoliti macroporose invece non comportano problemi di trasferimento di massa, tuttavia sono caratterizzate da una distribuzione non uniforme dei pori e da una scarsa area superficiale specifica e quindi da un numero di siti attivi ridotto, rendendole meno efficienti delle zeoliti microporose. Infine, rispetto ai due tipi di zeoliti citate, le zeoliti mesoporose possiedono le seguenti caratteristiche: maggiore area superficiale specifica, grazie a cui è possibile disperdere una maggior quantità di fase attiva, efficiente scambio di ioni, adsorbimento degli HC e distribuzione omogenea dei pori. Inoltre, temperature di reazione inferiori ed un buon trasferimento di massa limitano la formazione di depositi di carbone e di solfiti e solfati. Lo svantaggio principale delle zeoliti mesoporose è la stabilità idrotermica: la loro struttura può collassare se sono esposte a vapore o acqua ad alte temperature per tempi prolungati.

Per quanto riguarda le tecniche per l'adesione delle zeoliti al substrato, si può procedere per rivestimento con *slurry* o per sintesi *in situ*. Nel primo caso si dovrà immergere il monolite in una soluzione di cristalli di zeolite, con un solvente, come l'acqua, e con un legante, per esempio il silicio. Se si opta per la sintesi *in situ* si procederà con la nucleazione¹³¹ e la crescita delle zeoliti direttamente sulla superficie

¹³¹ Formazione, a partire da una fase solida, liquida o gassosa, di aggregati di atomi o molecole (detti nuclei) di un'altra fase, in grado di accrescersi fino a produrre particelle di dimensione microscopica o superiore. La nucleazione rappresenta il primo stadio di molti processi di transizione di fase, quali per es. la solidificazione di un fuso, la condensazione di un vapore saturo, la formazione di bolle di gas in un liquido saturo, la precipitazione di un sale da una soluzione. (*nucleazione*, in "Enciclopedia della Scienza e della

del monolite. Questa tecnica è preferibile in quanto garantisce l'interazione chimica tra il *washcoat* ed il substrato, e di conseguenza una resistenza meccanica superiore. Le zeoliti più diffuse, oltre alle ZSM-5, sono la mordenite (MOR), la cabasite (CHA) e la β -zeolite (BEA) scambiata con ioni di Fe o con ioni di Cu. I 165 diversi tipi di zeoliti conosciute sono elencate nell'Atlas of Zeolite Framework Types, un manuale a cura della IZA-SC (Structure Commission of International Zeolite Association).

4.4.3 Le perovskiti

Negli ultimi anni la ricerca sui materiali di supporto per la fase attiva si è concentrata sulla riduzione delle quantità di metalli nobili necessarie ai convertitori catalitici per svolgere la loro funzione con efficienza. L'attenzione è dunque stata posta sulle perovskiti, che sono state accolte dai mercati europeo e giapponese su larga scala nel 2002, per opera della Daihatsu Motor, nonostante fossero già state proposte negli anni '70, quando non avevano riscosso particolare interesse (Keav et al. 2014). Le perovskiti sono materiali catalitici con formula ABO_3 che possono cristallizzare in un reticolo cubico, caratterizzate da resistenza allo stress termico, ottima attività catalitica e basso costo (Esmailnejad-Ahranjani et al. 2020). Le lettere A e B nella formula ABO_3 indicano due siti cationici occupati da ioni di metalli alcalini, alcalino-terrosi o di terre rare. Al sito B è possibile includere, contemporaneamente agli ioni metallici appena citati, i metalli nobili Pt, Pd e Rh, o altri metalli con funzione catalitica come Cu, in quantità minori rispetto ai catalizzatori tradizionali di Al_2O_3/Pt . La particolarità delle perovskiti è la loro capacità di svolgere la funzione di OSC, con maggiore efficienza rispetto alla combinazione classica di Ce e Zr, insieme alla proprietà auto-rigenerativa dei metalli nobili, che ha conferito alle perovskiti l'appellativo di "catalizzatori intelligenti" (Heck et al. 2009). Poiché nei convertitori le temperature possono essere molto elevate, capita spesso che i metalli nobili si sinterizzano agglomerandosi in particelle metalliche, inficiando la funzione catalitica del dispositivo. Nelle perovskiti questo fenomeno può essere evitato grazie alla possibilità del catione del sito B, dopato con i metalli nobili, di cambiare fase di ossidazione: gli ossidi di metalli nobili, al sito B, si disperdono nel reticolo della perovskite in ambiente ossidante, mentre si segregano dal reticolo formando nanoparticelle metalliche di 1-3 nm in ambiente riducente. In poche parole, nelle fasi in cui i metalli nobili rischierebbero di sinterizzarsi, essi lasciano brevemente la struttura cristallina della perovskite depositandosi sulla sua superficie esterna. Questi cambiamenti strutturali, definiti "auto-rigenerativi", durano pochi secondi e possono avvenire anche a basse temperature (Keav et al. 2014).

Le perovskiti possono essere sintetizzate direttamente sulla superficie del substrato, ma in tal caso si possono sinterizzare alle alte temperature, o in alternativa possono essere disperse in piccole quantità su un supporto secondario che possieda una buona resistenza a fenomeni di stress termico (Keav et al. 2014). Per garantire la resistenza ad agenti avvelenanti quali lo zolfo, si può procedere alla preparazione di un

washcoat a doppio strato, in modo che le perovskiti siano disperse nel substrato inferiore e che lo zolfo non entri a contatto con la fase attiva. Alcuni esempi di ossidi di perovskite sono LaFePdO_3 , LaMnCuO_3 , CaTiRhO_3 e CaTiPtO_3 : queste ultime sono le due configurazioni commercializzate nel 2002 dalla Daihatsu.

4.5 La componente attiva

Con l'espressione "componente attiva", o "fase attiva", si designa il materiale catalitico di cui è impregnato il *washcoat* del substrato, materiale "attivo" nei confronti dei reagenti gassosi che verranno ossidati o ridotti. La componente attiva è formata da siti attivi, ovvero siti in cui le forze elettroniche della sua struttura cristallina sono ottimali per la reazione catalitica. Per esempio, quando il CO e l'O₂ vengono adsorbiti dai siti attivi presenti sulla superficie del *washcoat*, il legame tra gli atomi della molecola di CO si indebolisce ed essi vengono attratti dagli atomi di O₂. In seguito alla reazione tra CO ed O₂ le molecole di CO₂ prodotte vengono desorbite dai siti attivi e rilasciate dal convertitore nell'ambiente (Church et al. 1989).

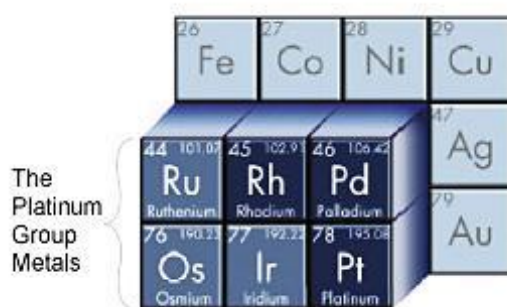


Figura 20: I metalli del gruppo del platino

La componente attiva è dunque l'elemento più importante del convertitore catalitico, e dalla scelta dei materiali più consoni dipende il corretto funzionamento del dispositivo. Ai tempi della commercializzazione dei primi convertitori, numerosi studi erano stati fatti per adoperare una componente attiva di metalli vili, molto economici ed ampiamente disponibili in natura. Tuttavia, i metalli vili reagivano con i supporti di allumina alle alte temperature riducendone l'area superficiale, si attivavano cataliticamente (*light-off*) a temperature troppo alte e venivano facilmente avvelenati dallo zolfo, all'epoca presente in tutti i carburanti (Acres et al. 2004). Per questo motivo le case produttrici di convertitori catalitici dovettero optare per i metalli del gruppo del platino (PGM), più costosi e meno reperibili, ma con notevoli proprietà catalitiche, resistenti alla corrosione ed all'avvelenamento rispetto ai metalli vili, facilmente lavorabili e dotati di alta conduttività, densità e punto di fusione (Crundwell et al. 2011). Solo di recente sono state rivalutate configurazioni di metalli vili quali il Cu, per esempio nelle perovskiti (Esmailnejad-Ahranjani et al. 2020). I PGM inoltre sono estremamente

selettivi, cioè preferiscono determinate reazioni, verso cui hanno un'energia di attivazione più alta, rispetto ad altre, verso cui hanno invece un'energia di attivazione più bassa: per esempio, il Pt catalizza l'ossidazione dell'etilene (C_2H_4) in CO_2 e H_2O , mentre l'anidride vanadica (V_2O_5) catalizza l'ossidazione dello stesso etilene in acetaldeide (CH_3CHO), poiché il Pt esegue la completa combustione dei reagenti, avendo un'energia di attivazione alta nei confronti di questa reazione, a differenza della V_2O_5 , che invece non è selettiva nei confronti di C_2H_4 (Heck et al. 2009). Nel caso dei convertitori catalitici, il Pt ed il Pd sono selettivi nei confronti dell'ossidazione di CO ed HC, mentre il Rh è selettivo per la riduzione degli NO_x , ed il funzionamento ottimale dei dispositivi è garantito dalla presenza di almeno uno dei due metalli ossidanti e del Rh contemporaneamente.

I PGM fanno parte dei metalli nobili, così chiamati perché reagiscono con difficoltà con altri elementi e trovano impiego allo stato puro o in leghe metalliche, e sono il platino (Pt), il palladio (Pd), il rodio (Rh), l'osmio (Os), l'iridio (Ir) ed il rutenio (Ru)¹³². Tra i PGM i metalli più utilizzati a livello industriale e soprattutto nell'ambito della catalisi automobilistica sono il Pt, il Pd ed il Rh: considerando la totalità di Pt, Pd e Rh estratti a livello mondiale le percentuali dei tre metalli adibiti alla sfera automobilistica erano rispettivamente il 40%, il 58% ed il 77% nel 2018 (Trifirò 2018). Le riserve più cospicue di PGM sono situate in Russia, Sudafrica, Zimbabwe, USA, Canada, mentre in Cina i PGM sono estratti in minor quantità, come sottoprodotto delle miniere di rame e nichel (Haldar 2016). I PGM sono tra gli elementi più rari nella crosta terrestre, in particolare il Rh, che per questo motivo è particolarmente costoso. Negli anni la predilezione di un PGM rispetto ad un altro è dipesa principalmente dal fattore economico: per esempio, negli anni '90 si diffusero i *Pd-only converters* in concomitanza con l'abbassamento del prezzo del Pd (Guillén-Hurtado et al. 2012).

Il metodo principale per fare aderire la fase attiva di metalli nobili al supporto è l'impregnazione: il supporto viene impregnato con una soluzione salina del metallo in questione, i cui sali fungono da precursori¹³³ e si distribuiscono nella struttura porosa del supporto. Tuttavia, esistono vari metodi per impregnare con la fase attiva¹³⁴ il substrato

¹³² Oltre ai PGM tra i metalli nobili compaiono anche l'argento (Ag) e l'oro (Au).

¹³³ In chimica, con funzione di attributo, detto di sostanza che interviene o si è formata in uno stadio preliminare di una reazione o di un processo chimico o biochimico e che in seguito si è trasformata in un'altra o in altre sostanze (così, per es., una provitamina costituisce il composto precursore di una vitamina). (*precursore*, in "Treccani", in <https://www.treccani.it/vocabolario/precursore/>, 25-05-2021)

¹³⁴ Nel caso in cui solo il *washcoat* venga impregnato con la fase attiva, il substrato viene immerso nello slurry che ne risulta, poi essiccato e calcinato.

dotato di *washcoat* o il solo *washcoat*, per esempio l'impregnazione a umido, l'adsorbimento elettrostatico e la deposizione-precipitazione, oltre al metodo dello scambio di ioni tipico delle zeoliti. L'impregnazione a umido, o impregnazione capillare, sfrutta il fenomeno della capillarità, secondo cui la soluzione di sali di PGM disciolta in una quantità d'acqua pari al volume poroso d'acqua (*water pore volume*)¹³⁵ del supporto scorre nei pori del supporto stesso, senza l'aiuto della forza di gravità. L'adsorbimento elettrostatico invece è utilizzato per creare un'interazione più intensa tra il supporto e la componente attiva. In questo caso la soluzione salina è di carica opposta rispetto al supporto. La carica del supporto può essere regolata in base al suo punto di carica zero (*point of zero charge*, PZC), cioè in base al pH che descrive una carica superficiale del supporto nulla. Se il pH del supporto viene regolato al di sotto del suo PZC, la sua superficie diventa positiva, e può dunque adsorbire sali metallici con carica negativa (Ma et al. 2021). Se invece la carica della superficie del supporto è negativa, con pH superiore al PZC, il supporto adsorbe sali con carica positiva. Nella terza tecnica, la deposizione-precipitazione, una soluzione alcalina precipitante viene impiegata per far precipitare un sale metallico, formando una soluzione in cui viene immerso il monolite, che viene infine calcinato. Per avere una dispersione uniforme della fase attiva nel substrato, si può ricorrere all'idrolisi dell'urea come precipitante (Deraz 2018). Durante la calcinazione l'urea si decompone e porta ad un aumento del pH e di conseguenza alla precipitazione della fase attiva.

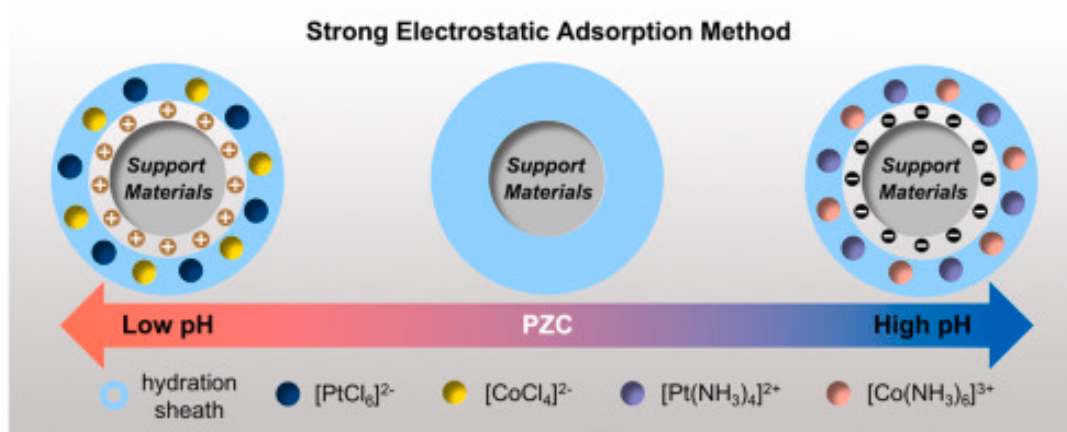


Figura 21: Tecnica dell'adsorbimento elettrostatico in base al PZC del supporto

¹³⁵ La quantità massima di acqua con cui il supporto può essere impregnato.

SEZIONE II

SCHEDE TERMINOGRAFICHE

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>adsorbire

<Morphosyntax>verb

<Source>^Palma/Barba 2013^:16

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In chimica fisica, fissare alla propria superficie molecole in fase gassosa o liquida, riferito a sostanze chimiche, a membrane biologiche, ecc.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/adsorbire>, (2021)

<Context>La determinazione dell'area superficiale di un ^catalizzatore^ poroso avviene utilizzando metodi chimico-fisici indiretti, ossia misurando la quantità di gas adsorbito al variare della pressione.

<Source>^Palma/Barba 2013^:16

<Concept field>fenomeni chimici

<Related words>^desorbire^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “adsorbire” e “吸附” esiste piena identità concettuale.

<zh>吸附

<Morphosyntax>verb

<Source>^郭等 2018^:14

<Lexica>按^现代汉语大词典 2009^

<Definition>物质的吸着现象。固体从溶液、气体中或液体从气体中把某些物质吸过来,使这些物质附着在自己表面上,如活性炭吸附毒气和液体中的杂质。

<Source>^现代汉语大词典 2009^

<Context>在氧化铝的各晶型中, γ -Al₂O₃ 具有较强吸附能力和大比表面积, 是目前主要使用的^涂层^材料。

<Source>^郭等 2018^:14

<Concept field>化学现象

<Related words>^解吸^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>allumina

<Morphosyntax>f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:6

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Composto chimico, ossido di alluminio (Al_2O_3), esistente in natura come minerale (corindone, smeriglio); dotato di grande durezza e di alto punto di fusione, viene ottenuto artificialmente dalla bauxite (che contiene ossidi idrati di alluminio come la ^böhmite^) e usato per la preparazione di refrattari e abrasivi, in vetreria e in ceramica.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/allumina>, (2021)

<Concept field>composti chimici

<Related words>^substrato^, ^böhmite^

<Type of relation>coord

<Equivalence it-zh>Tra i termini “allumina” e “氧化铝” esiste piena identità concettuale.

<zh>氧化铝

<Morphosyntax>noun group

<Source>^郭等 2018^:19

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>是白色固体，是铝和氧的化合物，分子式为 Al_2O_3 。在矿业、制陶业和材料科学上又称为矾土。

<Source>^youdao.com^, http://www.youdao.com/w/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%93%9D/#keyfrom=dict2_top, (2021)

<Context>国六标准下，氧化铝应用于汽油车的[^]三效催化器[^]，以及柴油车的DOC 和[^]DPF 催化器[^]。

<Source>[^]郭等 2018[^]:19

<Concept field>化合物

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>attivatore

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>[^]Petitot 2009[^]:209

<Lexica>Attestato in [^]Treccani.it, vocabolario[^]

<Definition>In chimica, sostanza capace d'innalzare l'attività di un [^]catalizzatore[^] inorganico o organico.

<Source>[^]Treccani.it, vocabolario[^], <https://www.treccani.it/vocabolario/attivatore/>, (2021)

<Context>Se A è un attivatore auto-catalitico e H è un inibitore la cui sintesi è catalizzata da A, allora a partire da una situazione iniziale omogenea si possono ottenere dei motivi periodici.

<Source>[^]Petitot 2009[^]:209

<Concept field>sostanze chimiche

<Related words>^catalizzatore^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “attivatore” e “助催化剂” esiste piena identità concettuale.

<it>promotore

<Morphosyntax>m

<Usage label>common

<Source>^Lietti 2004^:62

<zh>助催化剂

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^李 2013^:327

<Definition>助催化剂是一种改善^催化剂^的活性及选择性的化学物。

<Source>^王等 1999^:3

<Context>助催化剂本身没有活性，但是它能改变^催化剂^化学结构、晶格结构、表面结构、分散状态、机械强度等从而提高汽车尾气净化催化剂的活性、选择性、稳定性以及寿命。

<Source>^李 2013^:327

<Concept field>化学物质

<zh>助剂

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Source>^杨/兰 2013^:56

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>austenite

<Morphosyntax>f.

<Source>^Dimatteo 2020^:6

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Soluzione solida di cementite, Fe_3C , nel ferro γ ; cristallizza nel sistema cubico a facce centrate, può contenere sino al 2,06% di carbonio ed è stabile, nel raffreddamento, sino alla temperatura di 721 °C. Non ha proprietà magnetiche; si ritrova negli acciai temprati (acciai austenitici) come costituente strutturale, generalmente insieme alla martensite. È caratterizzata da elevata tenacità.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/austenite>, (2021)

<Concept field>composti chimici

<Related words>^involucro^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “austenite” e “奥氏体” esiste piena identità concettuale.

<zh>奥氏体

<Morphosyntax>noun

<Source>^北京市交通行业节能减排中心 2014^:17

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>奥氏体是钢铁的一种层片状的显微组织，通常是 γ -Fe 中固溶少量碳的无磁性固溶体，也称为沃斯田铁或 γ -Fe。奥氏体的名称是来自英国的冶金学家罗伯茨·奥斯汀（William Chandler Roberts-Austen）。奥氏体塑性很好，强度较低，具有一定韧性，不具有铁磁性。奥氏体因为是面心立方，八面体间隙较大，可以容纳更多的碳。

<Source>^youdao.com^,

<http://www.youdao.com/w/%E5%A5%A5%E6%B0%8F%E4%BD%93/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>^三元催化器^的 ^壳体^通常是双层结构，防止三元催化器氧化层脱落，其材料主要是奥氏体或镍铬耐热铁素体等不锈钢板。

<Source>^北京市交通行业节能减排中心 2014^:17

<Concept field>化合物

<Related words>^壳体^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>avvelenamento

<Morphosyntax>m.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:132

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>La contaminazione di un ^catalizzatore^ da parte di sostanze (veleni) che accompagnano i reagenti, capaci di bloccare i centri attivi o di modificare la superficie attiva del catalizzatore, inibendone così l'attività.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^,

<https://www.treccani.it/vocabolario/avvelenamento/>, (2021)

<Context>L'avvelenamento è dovuto all'inevitabile presenza, nei gas che attraversano il convertitore, di sostanze che reagiscono con la sua parte attiva o che semplicemente si depositano lentamente su di essa; tali sostanze sono contenute ad esempio nell'olio lubrificante (fosforo e zinco), nella benzina o nella stessa aria prelevata dall'ambiente esterno.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:132

<Concept field>fenomeni chimici

<Related words>^disattivazione^, ^invecchiamento^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “avvelenamento” e “中毒” esiste piena identità concettuale.

<zh>中毒

<Morphosyntax>noun

<Source>^王/冯 2005^:231

<Definition>中毒是指在^催化剂^表面上的活性成分与催化剂^载体^ ^吸附^的有毒物质发生化学反应，减少催化剂的催化活性的现象。

<Source>按^北京市交通行业节能减排中心 2014^:33

<Context>汽车尾气催化剂^失活^的一个重要原因是中毒,如毒物 Pb 和 P 沉积在催化活性表面。已有试验表明,毒物^前驱物^ (如 P_2O_5 、 H_3PO_4) 可与^活性组分^相互作用,形成无催化活性的沉积物,随着扩散和反应的进行,使毒物集中在催化剂孔入口处。

<Source>^王/冯 2005^:231

<Concept field>化学现象

<Related words>^失活^, ^老化^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>mineralogy/mineralogia

<it>böhmite

<Morphosyntax>f.

<Source>^Strocchi 2012^

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Minerale rombico, costituito da ossido basico di alluminio; si rinviene di solito in masse terrose nei giacimenti di bauxite.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/boehmite>, (2021)

<Concept field>minerali

<Related words>^allumina^, ^washcoat^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “böhmite” e “一水软铝石” esiste piena identità concettuale.

<zh>一水软铝石

<Morphosyntax>noun group

<Source>^蔡/余 2007^:1323

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>AlO(OH),多呈胶态,常呈鲕状、豆状、结核状或隐晶质块体。物理性质青灰色,条痕为白色。晶面玻璃光泽,解理面珍珠光泽。

<Source>^youdao.com^,

<http://www.youdao.com/w/%E4%B8%80%E6%B0%B4%E8%BD%AF%E9%93%9D%E7%9F%B3/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>一水软铝石和 γ -Al₂O₃ 的制备工艺通常包括成胶、^老化^、洗涤、干燥、成型和焙烧等过程,其孔结构可以通过控制凝胶的沉淀和老化过程、在成胶或成型时加入扩孔剂以及通过有机溶剂置换凝胶中的水分和溶剂热法等方法来实现。

<Source>^蔡/余 2007^:1323

<Concept field>矿物

<Related words>^氧化铝^, ^涂层^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>mineralogy/mineralogia

<it>cabasite

<Morphosyntax>f.

<Usage label>main term

<Source>^Anaclerio 2008^

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Minerale del gruppo delle zeoliti. È silicato idrato di alluminio e di calcio.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^,

https://www.treccani.it/enciclopedia/cabasite_%28Enciclopedia-Italiana%29/, (2021)

<Concept field>minerali

<Related words>^zeolite^, ^setaccio molecolare^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “cabasite” e “菱沸石” esiste piena identità concettuale.

<it>CHA

<Morphosyntax>f.

<Usage label>common

<Standardisation>IZA-SC

<Source>^Pigolotti/Salvi 2019^:1

<zh>菱沸石

<Morphosyntax>noun

<Source>^谢等 2016^:1860

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>菱沸石是沸石的一种，它是钠与钙的水合硅酸盐。菱沸石具有阳离子交换的性能，所以它可用来软化硬水。

<Source>^youdao.com^,

[\(http://www.youdao.com/w/%E8%8F%B1%E6%B2%B8%E7%9F%B3/#keyfrom=dict2.top, \(2021\)\)](http://www.youdao.com/w/%E8%8F%B1%E6%B2%B8%E7%9F%B3/#keyfrom=dict2.top)

<Context>近年来，以具有菱沸石（CHA）结构的^分子筛^为^载体^负载 Cu 制备的 Cu-CHA 系列^催化剂^，因其优秀的 NH₃-SCR 活性和良好的水热稳定性，成为学者们关注的热点。

<Source>^谢等 2016^:1860

<Concept field>矿物

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>calcinazione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:11

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>In chimica, riscaldamento di una sostanza solida a temperatura più o meno elevata per eliminare acqua di combinazione o parti volatili, decomporre i bicarbonati, i carbonati ecc. È utilizzata a volte per determinare in certi prodotti il residuo fisso, cioè la parte non volatile col riscaldamento a una determinata temperatura.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/calcinazione>, (2021)

<Context>L'^impregnazione^ dei monoliti con la soluzione del sale ^precursore^ della ^fase attiva^ è stata effettuata in seguito alla deposizione e stabilizzazione del ^washcoat^ mediante ^calcinazione^ (550 °C, 2 ore).

<Source>^Palma/Barba 2013^:11

<Concept field>processi chimici

<Related words>^estrusione^, essiccazione, cottura

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “calcinazione” e “煨烧” esiste piena identità concettuale.

<zh>煨烧

<Morphosyntax>noun

<Source>^李 2013^:327

<Lexica>按^景德镇陶瓷词典 2014^

<Definition>指陶瓷原料加工过程中的煨烧,即将物料加热到低于熔点的一定温度。

<Source>^景德镇陶瓷词典 2014^

<Context>载体浸渍(浸泡)在含有活性物质的盐液体(或气体)中,使金属盐类溶液吸附在载体中,出去剩余的溶液,干燥,煅烧及活化使活性组分附着在载体上。

<Source>^李 2013^:327

<Concept field>化学过程

<Related words>^挤压^,干燥,焙烧

<Type of relation>coord.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>canning

<Morphosyntax>m.

<Usage label>proposal

<Origin>loan word

<Source>^Bestoso 2021^

<Definition>Processo per sigillare il ^substrato^, il ^supporto secondario^ ed il ^materassino^ all'interno dell'^involucro^ metallico. La complessità è dovuta principalmente all'elevata pressione che l'involucro va ad esercitare sul convertitore, con il rischio di collasso delle celle del ^monolite^ nonché di flessione dello stesso a causa

dello sforzo di taglio (sollecitazione alla quale un organo meccanico, una struttura, un materiale sono sottoposti).

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Concept field>Il termine “canning” viene anche usato per indicare l’^involucro^ stesso del ^convertitore catalitico^.

<Related words>^involucro^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “canning” e “封装” esiste piena identità concettuale.

<zh>封装

<Morphosyntax>noun

<Source>^刘 2019^:34

<Definition>传统的^催化转化器^封装都使用简单塞入式封装工艺，其工艺可以大略描述为使用一个内部带有角度的导向槽用以把包裹了^衬垫^的 ^载体^ (通常为陶瓷材质，比较脆弱)通过一个塞入机构推入 ^壳体^ (通常为金属材质)中完成封装。

<Source>^李/林 2015^:3

<Context>^衬垫^相关参数设计的合理性直接影响^催化器^的封装及使用寿命,因此,需对衬垫设计选型进行研究。

<Source>^刘 2019^:34

<Concept field>催化器

<Related words>^壳体^

<Type of relation>general

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>capacità d'accumulo d'ossigeno

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Mangifesta 2009^:4

<Variant of>OSC

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Proprietà di accumulare ossigeno di alcune sostanze impiegate nei convertitori catalitici, che consentono di compensare, in regime transiente, le variazioni nel ^rapporto A/F^. Ciò permette un miglioramento rilevante della conversione combinata degli NO_x, degli idrocarburi e del CO.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, (2021)

<Concept field>catalizzatori

<Related words>^cerio^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “capacità d’accumulo d’ossigeno” e “储氧能力” esiste piena identità concettuale.

<it>OSC

<Morphosyntax>m.

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Zampina 2018^:17

<Phraseology>funzione OSC

<Variant of>capacità d’accumulo d’ossigeno

<zh>储氧能力

<Morphosyntax>noun group

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Definition>^三效催化剂^在发动机理论空燃比(A/F)为 14.17 附近的狭小窗口内三效催化效果最好。一个实用的技术就是采用闭环控制,即用氧传感器探测尾气中氧含量,把信号反馈给燃油喷射系统,以控制 A/F 位于理论值附近。但由于系统的响应延迟(主要是存在尾气流动时间和传感器的响应延迟), A/F 在理论值附近振

荡。尾气组分的幅值和频率的变化对三效催化剂的性能有很大影响。改善的方法是在涂层中添加有[^]储氧能力[^]的组分，也就是说可以在尾气氧化还原条件下被循环[^]氧化[^]和[^]还原[^]的组分,起这种重要作用的是稀土元素 Ce.

<Source>[^]王/冯 2005[^]:231

<Context>稀土金属对贵金属的分散、[^]涂层[^]的改性、[^]催化剂[^]的储氧能力[^]等都有很好的促进作用，其中 CeO 被认为是催化剂必不可少的[^]助剂[^]。

<Source>[^]杨/兰 2013[^]:56

<Concept field>催化剂

<Related words>[^]铈[^]

<Type of relation>general

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>catalisi

<Morphosyntax>f., inv.

<Source>[^]Battistoni et al. 2012[^]:1

<Lexica>Attestato in [^]Zingarelli 1987[^].

<Definition>Fenomeno in cui si varia la velocità di reazione chimica mediante l'azione di un [^]catalizzatore[^].

<Source>^Zingarelli 1987^

<Context>La riduzione catalitica selettiva applicata a motori a ciclo diesel non richiede inoltre il preventivo riscaldamento alla temperatura di catalisi dei gas da depurare poiché essi si trovano già ad un livello termico sufficiente. Si utilizza quindi vantaggiosamente l'anzidetta soluzione acquosa di ^urea^ ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), nella fattispecie AdBlue, in luogo dell'ammoniaca (NH_3) diretta, la quale se utilizzata pura potrebbe risultare più inquinante di NO_x stessi nel caso di fughe in atmosfera o di reazioni incomplete.

<Source>^Battistoni et al. 2012^:1

<Concept field>catalisi

<Related words>^catalizzatore^, ^convertitore catalitico^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh> Tra i termini “catalisi” e “催化” esiste piena identità concettuale.

<zh>催化

<Morphosyntax>noun

<Source>^贾等 2021^:468

<Lexica>按 ^汉典 2021^

<Definition>加入^催化剂^使化学反应速度改变的作用。

<Source>^汉典 2021^

<Context>由于金的催化作用,在摩擦界面促使发生非晶向石墨烯纳米带的转变,减弱摩擦界面间的相互作用,降低了摩擦系数,实现了宏观尺度的超滑。

<Source>^贾等 2021^:468

<Concept field>催化

<Related words>^催化剂^, ^催化转化器^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>catalizzatore

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Sostanza che, presente anche in minima quantità, modifica la velocità di una reazione chimica, pur senza far parte dei prodotti finali della reazione. Il c. modifica, abbassandola, la quantità di energia di attivazione necessaria per innescare la reazione. L'attività e la durata dei c. è favorita dalla presenza dei cd. 'promotori' che agiscono modificando la superficie del c. o l'affinità con i reagenti.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^,

<https://www.treccani.it/enciclopedia/catalizzatore>, (2021)

<Context>Il catalizzatore favorisce inoltre alcune reazioni indesiderate e quindi la formazione di sostanze dannose per l'ambiente e per l'uomo, quali acido solfidrico (a causa dello zolfo presente nella benzina), ammoniaca e protossido di azoto (N₂O).

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Concept field>chimica

<Synonyms>Nonostante i due termini siano spesso usati come sinonimi, la relazione tra il termine “catalizzatore” usato come sostantivo ed il termine “ ^convertitore catalitico^” è di tipo sineddotico “parte per il tutto”, in quanto il catalizzatore è una sostanza contenuta nel dispositivo catalitico. Tra i due termini non sussiste dunque piena identità concettuale. Il termine “catalizzatore” può essere più correttamente utilizzato come aggettivo per indicare una qualità del dispositivo.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “catalizzatore” e “催化劑” esiste piena identità concettuale.

<it>^convertitore catalitico^

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>rejected

<Synonymy>(~)

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<zh>催化劑

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^王等 1999^:3

<Lexica>按^中国成人教育百科全书:化学·化工 1994^

<Definition>在化学反应中,对于化学反应速度和方向有重大影响物质,通称为催化剂。催化剂能影响反应速率,但不能改变反应物间的平衡状态。

<Source>^中国成人教育百科全书:化学·化工 1994^

<Concept field>化学

<Synonyms>Nonostante i due termini siano spesso usati come sinonimi, la relazione tra il termine “催化剂” ed il termine “^催化器^” è di tipo sineddotico “parte per il tutto”, in quanto il termine “催化剂”, cioè il catalizzatore, descrive la sostanza contenuta nel dispositivo catalitico. Tra i due termini non sussiste dunque piena identità concettuale.

<zh>^催化器^

<Morphosyntax>noun

<Usage label>rejected

<Synonymy>(~)

<Source>^李等 2018^:317

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>cella

<Morphosyntax>f.

<Usage label>main term, proposal

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:128

<Definition>Cavità parallele che descrivono la struttura dei monoliti a nido d'ape. La loro densità si misura in cpsi (celle al pollice quadro) e possono essere di svariate forme, dalla triangolare all'esagonale.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Il ^substrato^ può essere metallico o ceramico: l'uso del metallo come substrato permette di avere pareti più sottili, e quindi un maggior numero di celle per unità di superficie, minore contropressione e maggiore resistenza; d'altro canto il substrato ceramico presenta una maggiore adesione del ^catalizzatore^, minore sensibilità alla corrosione e minori costi.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:128

<Concept field>convertitore catalitico

<Related words>^monolite a nido d'ape^, ^substrato^

<Type of relation>super.

<Synonyms>canale

<Equivalence it-zh>Tra i termini “cella” e “窝室” esiste identità concettuale relativa in quanto il termine “cella” gode di un'accezione più ampia.

<it>canale

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Source>^Viglianco 2019^:6

<zh> 窝室

<Morphosyntax>noun

<Source>^王等 2002^

<Definition>蜂窝状^载体^的蜂窝截面.有三角形、四方形和六角形等形状。

<Source>^王等 1999^:5

<Concept field>催化器

<Related words>^蜂窝载体^, ^载体^

<Type of relation>super.

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>cerio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Palma/Barba 2013^:23

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Elemento chimico del gruppo delle terre rare, scoperto nel 1803 contemporaneamente e indipendentemente da M.H. Klaproth e J.J. Berzelius; simbolo Ce, numero atomico 58. È l'elemento più abbondante e uno dei più reattivi tra quelli delle terre rare. L'impiego di ossidi di c. come catalizzatori e come promotori strutturali ed elettronici in varie reazioni catalitiche eterogenee è andato acquisendo crescente importanza, sia in vari processi dell'industria sia, soprattutto, per applicazioni ambientali.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/cerio>, (2021)

<Concept field>terre rare

<Related words>^capacità d'accumulo d'ossigeno^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “cerio” e “铈” esiste piena identità concettuale.

<zh>铈

<Morphosyntax>noun

<Source>^龚等 2007^:100

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>淡黄或黄褐色助粉末。其性能是做抛光材料、^催化剂^、催化剂 ^载体^ (^助剂^)、紫外线吸收剂、燃料电池电解质、汽车尾气吸收剂、电子陶瓷等。^催化转化器^ ^涂层^中Ce的含量通常很高,它具有多种功能:稳定催化剂涂层、增强催化活性、储放氧和促进水煤气反应等。

<Source>^youdao.com^, http://www.youdao.com/w/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%93%88/#keyfrom=dict2_top, (2021)

<Context>高温热老化是由于^催化剂^长期暴露在高温环境中, ^活性组分^ ^铂^, ^铈^和 ^钼^等贵金属挥发, ^涂层^脱落, 其晶粒及^助剂^氧化铈的晶粒明显增大。此外, ^载体^ ^氧化铝^发生相变, 加剧了贵金属活性组分和助剂氧化铈晶粒的长大, 烧结和聚集, 从而导致失活。

<Source>^龚等 2007^:100

<Concept field>稀土金属

<Related words>^储氧能力^

<Type of relation>general

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>close-coupled

<Morphosyntax>adj.

<Source>^Cioffi et al. 2001^:1

<Definition>Detto di convertitore posto a stretto contatto con il collettore di scarico per abbassare la temperatura di light-off sotto i 200-250 °C.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Il rispetto dei più stringenti limiti introdotti dalle norme EURO3 e EURO4 comporta l'adozione di configurazioni di scarico con convertitore ravvicinato al collettore, cioè in posizione close-coupled, così da ridurre il tempo di messa in efficienza dello stesso e, conseguentemente, contenere maggiormente le emissioni. Tale configurazione introduce nuove problematiche in relazione ai criteri di ottimizzazione della geometria del collettore di scarico, non più univocamente legati alle prestazioni del motore, ma

subordinati anche alla necessità di garantire le condizioni per il migliore funzionamento del sistema di post-trattamento dei gas esausti.

<Source>^Cioffi et al. 2001^:1

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “close-coupled” e “紧耦合式” esiste piena identità concettuale.

<zh>紧耦合式

<Morphosyntax>adj. group

<Source>^董 2008^:1

<Definition>排气系统为紧耦合式的话，排气歧管直接与^催化器^相连接。

<Source>^杨等 2012^

<Context>为达到欧IV排放法规的要求,通常将^催化转换器^安装在发动机排气歧管的出口位置,也就是开发并使用了紧耦合式排气歧管。与传统布置方式相比,这种布置可以使催化剂快速起燃,充分发挥某些配方^催化剂^的效能,因而被执行欧IV排放标准的车辆广泛采用。

<Source>^董 2008^:1

<Concept field>催化器

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>coefficiente di dilatazione termica

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Variant of>CTE

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>L'energia termica somministrata a un corpo fa variare l'energia delle sue molecole, ne modifica i moti, da cui esse sono incessantemente animate e quindi le distanze medie che le separano. Nel caso di corpi solidi, cioè dotati di forma e dimensioni proprie, si suol considerare la dilatazione secondo tre aspetti, cioè, a seconda che si considerano le variazioni come aventi luogo lungo una linea o secondo una superficie o un volume, si hanno le dilatazioni: *lineare*, *superficiale* e *cubica*. Di una sbarra molto lunga e sottile, in generale interesserà studiare la dilatazione lineare, di una lastra molto sottile ed estesa la dilatazione superficiale, infine di un corpo di forma qualunque, in generale interesserà la dilatazione cubica. L'allungamento subito da una sbarra lunga un metro, per la variazione di 10 nella temperatura si dice *coefficiente di dilatazione termica lineare*. In modo analogo si definiscono i coefficienti di dilatazione *superficiale* e *cubica*, che con buona approssimazione sono eguali rispettivamente al doppio e al triplo del coefficiente di dilatazione lineare.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^,

https://www.treccani.it/enciclopedia/dilatazione_%28Enciclopedia-Italiana%29/, (2021)

<Context>Il differente coefficiente di dilatazione termica del ^washcoat^ rispetto al supporto, infatti, può essere la causa della formazione di crepe profonde nella struttura del washcoat, di perdita di aderenza e del suo distacco dal supporto ceramico.

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Concept field>chimica fisica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “coefficiente di dilatazione termica” e “热膨胀系数” esiste piena identità concettuale.

<it>CTE

<Morphosyntax>m.

<Category>initials

<Origin>loan word

<Source>^Girardi/Di Maggio 2014^:9

<Variant of>coefficiente di dilatazione termica

<zh>热膨胀系数

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王/冯 2005^:229

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>物体由于温度改变而有胀缩现象。其变化能力以等压(p 一定)下, 单位温度变化所导致的长度量值的变化, 即热膨胀系数表示。

<Source>^youdao.com^,

<http://www.youdao.com/w/%E7%83%AD%E8%86%A8%E8%83%80%E7%B3%BB%E6%95%B0/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>目前广泛应用的整装^催化转化器^出现于 20 世纪 60 年代末期, ^催化剂^^载体^为整体式蜂窝结构, 具有纵向连续不受阻挡的流动^通道^, 由于其具有高的

机械强度,耐冲击、热稳定性能好,热膨胀系数小;整体式装配,易于装卸和更换;开孔率高,排气阻力小,对发动机性能影响小等优点而取代了传统的颗粒式载体。

<Source>^王/冯 2005^:229

<Concept field>物理化学

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore ASC

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form, initials

<Usage label>main term, proposal

<Origin>hybrid

<Source>^Bestoso 2021^

<Variant of>Ammonia Slip Catalyst

<Definition>Dispositivo ubicato a valle dell'SCR per evitare che l'ammoniaca dispersa da quest'ultimo venga dispersa nell'ambiente. È dotato di uno strato che funge esso stesso da SCR e di una parte ossidante con substrato in ^cordierite^ e ^coating^ impregnato di metalli nobili. Mentre la parte ossidante converte l'ammoniaca in eccesso, proveniente dal dispositivo SCR anteposto, in NO e acqua, lo strato con funzione SCR riduce l'ammoniaca e l'NO appena prodotto. In questo modo vengono eliminati sia gli NO_x sia l'NH₃ dispersa dal convertitore SCR principale.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore ASC” e “氨分解催化器” esiste piena identità concettuale.

<it>Ammonia Slip Catalyst

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Origin>loan word

<Source>^Ghelfa 2019^:51

<Variant of>convertitore ASC

<zh>氨分解催化器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^周/陆 2020^

<Definition>氨泄漏催化器将^氧化^车用 ^尿素^ 在 ^还原^NO_x 过程中泄漏出来的氨气转变为氮气。

<Source>^杨/陈 2020^:6

<Concept field>催化器

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore a tre vie

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Castiglioni 2012^:10

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Variant of>convertitore TWC

<Definition>Dispositivo in grado di convertire le emissioni nocive da motori a combustione interna basati sul ciclo Otto (quello utilizzato nei motori a benzina) in sostanze di minore o nullo impatto ambientale. I catalizzatori a tre vie sono così denominati in quanto svolgono simultaneamente tre funzioni: (a) la riduzione degli ossidi di azoto (NO_x) ad azoto (N₂); (b) l'ossidazione del monossido di carbonio (CO) a biossido di carbonio (CO₂); (c) l'ossidazione degli idrocarburi incombusti (HC) a biossido di carbonio e acqua. In condizioni ottimali, la conversione di CO, NO_x e HC è superiore al 98%, anche per tempi di vita lunghi del catalizzatore.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, [https://www.treccani.it/enciclopedia/catalizzatore-a-tre-vie_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/catalizzatore-a-tre-vie_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/), (2021)

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore a tre vie” e “三元催化器” esiste piena identità concettuale.

<it>convertitore TWC

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form, initials

<Origin>hybrid

<Source>^Crocchi/Fichera 2015^:18

<Variant of>convertitore a tre vie

<zh>三元催化器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^北京市交通行业节能减排中心 2014^

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>三元催化器，是安装在汽车排气系统中最重要的机外净化装置，它可将汽车尾气排出的 CO、HC 和 NO_x 等有害气体通过^氧化^和^还原^作用转变为无害的二氧化碳、水和氮气。当高温的汽车尾气通过净化装置时，三元催化器中的净化剂将增强 CO、HC 和 NO_x 三种气体的活性，促使其进行一定的氧化-还原化学反应，其中 CO 在高温下氧化成为无色、无毒的二氧化碳气体；HC 化合物在高温下氧化成水(H₂O)和二氧化碳；NO_x 还原成氮气和氧气。三种有害气体变成无害气体，使汽车尾气得以净化。

<Source>^youdao.com^,

<http://www.youdao.com/w/%E4%B8%89%E5%85%83%E5%82%AC%E5%8C%96%E5%99%A8/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Concept field>催化器

<zh>三效催化器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^郭等 2018^:19

<zh>三效催化剂

<Morphosyntax>noun group,

<Usage label>common

<Source>^王/冯 2005^:231

<zh>三效催化转化器

<Morphosyntax>noun group,

<Usage label>common

<Source>^龚等 2007^:104

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore a quattro vie

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>main term, proposal

<Source>^Bestoso 2021^

<Variant of>convertitore FWC

<Definition>^Convertitore catalitico^ risultante dall'unione di un ^convertitore TWC^ ed un ^filtro GPF^, particolarmente adatto ai motori a benzina a iniezione diretta.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore a quattro vie” e “四元催化器” esiste piena identità concettuale.

<it>convertitore FWC

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form, initials

<Origin>hybrid

<Source>^Bestoso 2021^

<Variant of>convertitore a quattro vie

<zh>四元催化器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^鲍等 2017^:220

<Definition>汽油车后处理系统由原来的 TWC 增添为 TWC+GPF. 90% 的直喷机采用该技术路线。

<Source>^姚等 2018^:14

<Context>由于过滤效率与排气背压之间呈折中关系，因此权衡二者之间的关系，以及 TWC 与 GPF 组合的四元催化器是未来的研究方向。

<Source>^鲍等 2017^:220

<Concept field>催化器

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore catalitico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Lexica>Attestato in ^Zingarelli 1987^.

<Definition>Negli autoveicoli, dispositivo che, per mezzo di speciali catalizzatori e attraverso processi di ossidazione e riduzione, trasforma i gas di scarico tossici in sostanza non inquinanti.

<Source>^Zingarelli 1987^

<Context>Nel tempo, inoltre, si verificano diversi processi che inducono una perdita di efficienza nei convertitori catalitici, quali la degradazione termica e meccanica: una conoscenza approfondita dei processi di ^invecchiamento^ del dispositivo può consentire una stima della tempistica degli interventi di manutenzione e/o sostituzione, in condizioni standard di guida.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Concept field>convertitori catalitici

<Related words>^catalisi^

<Type of relation>super.

<Synonyms>Nonostante i due termini siano spesso usati come sinonimi, la relazione tra il termine “ ^catalizzatore^ ” usato come sostantivo ed il termine “convertitore catalitico” è di tipo sineddotico “parte per il tutto”, in quanto il catalizzatore è una sostanza contenuta nel dispositivo catalitico. Tra i due termini non sussiste dunque piena identità concettuale. Il termine “catalizzatore” può essere più correttamente utilizzato come aggettivo per indicare una qualità del dispositivo.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore catalitico” e “催化转化器” esiste piena identità concettuale.

<it>marmitta catalitica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>common

<Source>^Petrucci/Senofonte 2006^

<it>^catalizzatore^

<Morphosyntax>m.

<Usage label>rejected

<Synonymy>(~)

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<zh>催化转化器

<Morphosyntax>noun group

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^方等 2003^:56

<Variant of>催化器

<Definition>催化转化器是降低汽车有害物排放的有效装置。

<Source>^陈 2006^

<Context>在原国家科委、机械部和美国福特汽车公司的技术支持和资助下,于2000年初研制成功了一整套催化转化器在发动机台架上快速老化试验、净化性能评价试验和机械性能评价试验装置。

<Source>^方等 2003^:56

<Concept field>催化器

<Synonyms>Nonostante i due termini siano spesso usati come sinonimi, la relazione tra il termine “^催化剂^” ed il termine “催化器” è di tipo sineddotico “parte per il tutto”, in quanto il termine “催化剂”, cioè il catalizzatore, indica la sostanza contenuta nel dispositivo catalitico. Tra i due termini non sussiste dunque piena identità concettuale.

<zh>催化器

<Morphosyntax>noun

<Category>short form

<Usage label>common

<Source>^李等2018^:317

<Variant of>催化转化器

<zh>^催化剂^

<Morphosyntax>noun

<Usage label>rejected

<Synonymy>(~)

<Source>^王等 1999^:3

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore ossidante

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Source>^Valdiviano Huertas 2010^:49

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>I convertitori ossidanti a due vie abbattano solo HC e CO, sono più semplici e non richiedono sistemi di regolazione elettronica. Alcuni modelli che possono essere installati su vetture non predisposte sono anche denominati retrofit. L'effetto sulle emissioni risulta mediamente intorno al 50%.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/aree-metropolitane_%28Enciclopedia-Italiana%29/, (2021)

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore ossidante” e “氧化型转化器” esiste piena identità concettuale.

<it>convertitore a due vie

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>uncommon

<Source>^Bestoso 2021^

<zh>氧化型转化器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^李/刘 1998^:25

<Definition>仅能净化 CO 和 HC 的^催化转化器^为氧化型转化器。

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Context>^催化转化器^对汽车排放的作用从汽车中排放出来的有害物质主要有 HC、CO 和 NO_x。55%的 HC、几乎 100%的 CO 和 NO_x 都来自排气管。汽车排气催化转化器的作用就是治理汽车排出的 CO、HC 和 NO_x。若只要求治理 CO 和 HC 对环境的污染,则只需要使用氧化型催化转化器。

<Source>^李/刘 1998^:25

<Concept field>催化器

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore ossidante per il diesel

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Source>^Bestoso 2021^

<Definition>Convertitore ossidante usato nei veicoli a diesel. Le funzioni del DOC sono: ossidare il NO in NO₂, così contribuendo alla rigenerazione del ^filtro DPF^; smaltire il carburante incombusto proveniente dal motore o iniettato nello scarico per rigenerare il DPF e la ^trappola LNT^; rimuovere gli HC gassosi, che altrimenti inibirebbero il funzionamento del ^convertitore SCR^. I primi modelli progenitori del DOC risalgono al

1967, ai tempi delle prime regolamentazioni ambientali statunitensi, quando iniziarono ed essere montati sui mezzi da lavoro, carrelli elevatori e mezzi per l'estrazione mineraria.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Synonyms>convertitore DOC

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore ossidante per il diesel” e “柴油氧化催化器” esiste piena identità concettuale.

<it>convertitore DOC

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^Bestoso 2021^

<zh>柴油氧化催化器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^邹/吕 2018^

<Definition>将柴油燃烧后的排放物，例如 CO、HC 和 SOF 等进行^氧化^，然后产生 CO₂ 和 H₂O。他的不足之处在于，DOC 并不能将污染物完全氧化，其转换效率分别为：CO 70-90%; HC 60-80%; SOF 40-50%。所以，仅仅 DOC 是不够的。

<Source>^姚等 2018^:7

<Concept field>催化器

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore per l'accumulo degli NO_x

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Source>^Bestoso 2021^

<Definition>Dispositivi pensati per operare in condizioni ossidanti che coadiuvano la rimozione degli NO_x attivandosi a basse temperature. Si dividono in attivi e passivi. Nel primo caso prendono il nome di LNT o NSR, e si rigenerano tramite iniezioni di carburante controllate dall'OBD. Nel secondo caso prendono il nome di PNA, e si rigenerano con l'aumento "spontaneo" della temperatura di scarico. La tecnologia NAC è stata introdotta inizialmente nei motori GDI, seguiti dai veicoli leggeri a diesel. Nei motori a ciclo Diesel questi dispositivi sono complementari all'SCR mentre nei motori a ciclo Otto affiancano il TWC, che non è sufficiente a ridurre gli NO_x in autonomia in condizioni di miscela magra.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Related words>^trappola LNT^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini "convertitore per l'accumulo degli NO_x" e "NO_x 储存 催化剂" esiste piena identità concettuale.

<it>convertitore NSC

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>uncommon

<Origin>hybrid

<Source>^Zampina 2018^:11

<it>convertitore NAC

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>uncommon

<Origin>hybrid

<Source>^Auriemma 2013^:2

<zh>NO_x 储存催化剂

<Morphosyntax>noun group

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^王/张 2009^

<Variant of>NSC

<Definition>氮氧化物存储式^催化转化器^: 先把 NO_x 存起来, 等到一定的时机再进行^再生^处理, 系统性地转换成氮气。NSC 需要贵金属 (高成本), 效率也不高 50%-80%, 标定过程很复杂。

<Source>^姚等 2018^:7

<Concept field>催化器

<zh>NSC

<Morphosyntax>noun

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^姚等 2018^:7

<Variant of>NO_x Storage Catalyst

<zh>NO_x Storage Catalyst

<Morphosyntax>noun group

<Category>long form

<Usage label>uncommon

<Origin>loan word

<Source>^姚等 2018^:7

<Variant of>NSC

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>convertitore per la riduzione catalitica selettiva

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Bestoso 2021^

<Variant of>convertitore SCR

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Questa soluzione parte dall'esperienza sviluppata nella riduzione selettiva degli NO_x con ammoniaca da sorgenti fisse ed è basata su catalizzatori analoghi a base di ossidi di ^vanadio^ e tungsteno supportati sull'ossido di titanio (TiO₂) oppure a base di zeoliti. Tale processo richiede la presenza di un serbatoio addizionale per il riducente e un adeguamento della rete distributiva. Per evitare lo stoccaggio e la distribuzione diretta d'ammoniaca, si utilizzano composti alternativi come l' ^urea^, che per idrolisi catalitica genera l'ammoniaca necessaria per la riduzione degli NO_x.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale-%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/>, (2021)

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “convertitore per la riduzione catalitica selettiva” e “选择性还原催化器” esiste piena identità concettuale.

<it>convertitore SCR

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form, initials

<Origin>hybrid

<Source>^Lazzaroni 2015^:459

<Variant of>convertitore per la riduzione catalitica selettiva

<zh>选择性还原催化器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^韦等 2007^:320

<Definition>选择性催化还原(SCR)是目前控制氮氧化物排放的主要技术,该技术具有选择性好,脱硝效率高,不造成二次污染等优点.

<Source>^顾等 2012^:1493

<Context>^催化剂^是选择性催化还原(SCR)脱硝技术的核心,其催化性能直接关系到脱硝效果的好坏.近年来,由于低温选择性催化还原法具有良好的经济性,引起各国环保研究工作者的关注,成为近年 SCR 研究的热点。

<Source>^韦等 2007^:320

<Concept field>催化器

<zh>SCR 催化剂

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Origin>hybrid

<Source>^郭等2018^:12

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>tecnologia chimica/chimical technology

<it>cordierite

<Morphosyntax>f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^.

<Definition>Silicato di alluminio, magnesio e ferro, $Mg_2Al_2Si(Si_4Al_2O_{18})$, rombico. Ha lucentezza vitrea e presenta un intenso pleocroismo dall'azzurro violaceo al giallo, al blu intenso o violaceo. Tipico minerale di contatto, si trova in cristalli distinti, granuli o masserelle, in micascisti e gneiss in Italia, Finlandia, Norvegia, Grecia.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^

<Context>I monoliti utilizzati generalmente sono a base di cordierite ($2\text{MgO} - 5\text{SiO}_2 - 2\text{Al}_2\text{O}_3$) e sono caratterizzati da una struttura geometrica a nido d'ape con tanti canali paralleli che garantiscono una elevata superficie di contatto gas/solido per unità di volume del ^catalizzatore^ e basse perdite di carico anche con portate elevate in alimentazione.

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Concept field>ceramiche

<Related words>^substrato^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “cordierite” e “堇青石” esiste piena identità concettuale.

<zh>堇青石

<Morphosyntax>noun

<Source>^周 2002^

<Definition>堇青石是一种具有较低^热膨胀系数^、良好抗热震性的矿物材料。天然的堇青石矿物原料很少,因此常常采用人工合成的方法来合成堇青石材料。

<Source>^周 2002^

<Context>堇青石($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$)具有高熔点,低热膨胀性,优良的机械强度等特点,成为生产蜂窝陶瓷的首选材料.

<Source>^周 2002^

<Concept field>陶瓷

<Related words>^载体^

<Type of relation>general

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>desorbire

<Morphosyntax>verb

<Usage label>proposal

<Source>^Bestoso 2021^

<Definition>Liberare una sostanza adsorbita su un solido.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^,
<https://www.treccani.it/enciclopedia/desorbimento/>, (2021)

<Concept field>fenomeni chimici

<Related words>^adsorbire^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “desorbire” e “解吸” esiste piena identità concettuale.

<zh>解吸

<Morphosyntax>verb

<Source>^李等 2018^

<Lexica>按^千篇 2021^

<Definition>通过吸附的逆过程除去被吸附的物质。

<Source>^千篇 2021^, <https://cidian.qianp.com/ci/%E8%A7%A3%E5%90%B8>,
(2021)

<Concept field>化学现象

<Related words>^吸附^

<Type of relation>ant.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>DEF

<Morphosyntax>m.

<Category>initials

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Margarita 2019^:18

<Variant of>diesel exhaust fluid

<Definition>È il nome utilizzato a livello internazionale per definire un additivo costituito da una soluzione acquosa di ^urea^ al 32.5% (miscela eutettica), ad elevata purezza, avente composizione e standard di qualità regolamentati dalla norma DIN 70070

e ISO 22241. È un prodotto sintetico, inodore, incolore e non pericoloso (non risulta essere infiammabile né tossico). Di conseguenza può essere trasportato a bordo dei veicoli senza causare pericoli in caso di perdite.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Related words>^urea^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “diesel exhaust fluid” e “柴油机尾气处理液” esiste piena identità concettuale.

<it>diesel exhaust fluid

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>uncommon

<Origin>loan word

<Source>^Margarita 2019^:18

<Variant of>DEF

<zh>柴油机尾气处理液

<Morphosyntax>noun group

<Source>^唐等 2012^:23

<Definition>是一种软化水中的 32.5%的高纯度^尿素^溶液。通常储存在 SCR 车辆的尿素罐中并且被喷射到车辆的废气中，以为了将氮氧化物转化为元素氮和水。

<Source>^索普/霍尔特 2019^:4

<Concept field>催化器

<Related words>^尿素^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>disattivazione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:28

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Processo che nel tempo porta a una variazione graduale dell'attività e/o della selettività di un ^catalizzatore^.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-per-il-disinquinamento_%28Enciclopedia-del-Novecento%29/, (2021)

<Concept field>fenomeni chimici

<Related words>^invecchiamento^, ^avvelenamento^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “disattivazione” e “失活” esiste piena identità concettuale.

<zh>失活

<Morphosyntax>noun

<Source>^王等 1999^:4

<Lexica>按^精细化工辞典 1998^

<Definition>^催化剂^在使用过程中,活性和选择性会缓慢或显著下降,这就是催化剂的失活过程。

<Source>^精细化工辞典 1998^

<Context>^催化剂^的破裂和流失是催化剂失活的机械原因。因此要求^载体^具有良好的耐冲击和振动性能。

<Source>^王等 1999^:4

<Concept field>化学现象

<Related words>^老化^, ^中毒^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>materials engineering/ingegneria dei materiali

<it>estrusione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:129

<Definition>Con l'espressione estrusione si intende la fusione continua di materiale plastico e la sua forzatura attraverso una filiera di formatura con successivo raffreddamento per la produzione di semilavorati come profilati, lastre oppure film. Vengono usate per l'alimentazione materie plastiche sotto forma di granulato, polvere o anche mescole secondo formulazioni, poiché molte attrezzature di estrusione possono assolvere anche compiti di compoundizzazione.

<Source>^Saechtling 2006^:227

<Context>I filtri più diffusi sono quelli ceramici, ottenuti per estrusione di materiale ceramico poroso, in modo da ricavare elementi cilindrici monolitici con canali disposti assialmente e chiusi alternativamente alle estremità, per costringere i gas ad attraversare le pareti porose dei canali, per raggiungere i condotti adiacenti lasciando indietro le particelle trasportate in sospensione.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:129

<Concept field>lavorazione dei materiali

<Related words>^monolite^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “estrusione” e “挤压” esiste piena identità concettuale.

<zh>挤压

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨/陈 2020^:19

<Lexica>按^中国冶金百科全书:金属塑性加工 1999^

<Definition>用挤压杆将放在挤压筒中的坯料压出挤压模孔而成形的金属塑性加工方法。

<Source>^中国冶金百科全书:金属塑性加工 1999^

<Context>^蜂窝陶瓷载体^挤压成形模具决定了^载体^的形状，壁厚，尺寸和孔密度等基本参数，模具孔密度高且精细，对加工精度要求极高。

<Source>^杨/陈 2020^:19

<Concept field>材料加工

<Related words>^载体^

<Type of relation>general

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>fase attiva

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>main term

<Source>^Palma/Barba 2013^:11

<Definition>Componente che svolge la funzione di ^catalizzatore^ in un ^convertitore catalitico^. Solitamente è composta da metalli nobili.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>L' ^impregnazione^ della fase attiva nel ^washcoat^ è stata condotta con due modalità differenti al fine di valutare il metodo di preparazione ottimale mediante le prove di attività catalitica. I due metodi di preparazione utilizzati sono l'impregnazione congiunta della fase attiva con il washcoat e l'impregnazione della fase attiva dopo la deposizione e stabilizzazione del washcoat.

<Source>^Palma/Barba 2013^:11

<Concept field>catalizzatori

<Related words>^catalizzatore^, ^metalli del gruppo del platino^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “fase attiva” e “活性组分” esiste piena identità concettuale.

<it>componente attiva

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>common

<Source>^Croci/Fichera 2015^:4

<zh>活性组分

<Morphosyntax>noun group

<Source>^王等 1999^:4

<Definition>^催化剂^的活性组分一般通过其前驱体溶液引入到^载体^中，再经过干燥、焙烧或^还原^等活化过程，使前驱体分解为金属单质或形成氧化物等活性态分布在载体上。其中，贵金属催化剂具有高的活性，良好的选择性、热稳定性、机械强度等优点，在世界尾气净化催化剂市场上占有绝对优势。

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Context>^催化剂^的活性与其比表面大小有关，若催化反应速度不受传质过程的限制，则催化活性与其比表面成正比。大比表面有利于催化剂活性组分的高度分散，对提高催化剂的活性极为有利。

<Source>^王等 1999^:4

<Concept field>催化剂

<Related words>^催化剂^, ^铂族金属^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>filtro

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Palma/Barba 2013^:36

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Dispositivo atto a rimuovere impurità. Per i motori diesel l'abbattimento delle polveri sottili (PM-10), tecnicamente dette particolato, presente nei fumi di scarico, è effettuato da filtri, o trappole, in genere ceramici, su cui si depositano le particelle trascinate dal gas.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^,
<https://www.treccani.it/enciclopedia/marmitta>, (2021)

<Concept field>convertitori catalitici

<Synonyms>trappola

<Related words>^filtro DPF^, ^filtro GPF^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “filtro” e “过滤器” esiste piena identità concettuale.

<it>trappola

<Morphosyntax>f.

<Usage label>common

<Source>^Palma/Barba 2013^:15

<zh>过滤器

<Morphosyntax>noun

<Source>^郭等 2018^:12

<Lexica>按^军事大辞海 2000^

<Definition>滤除油料中杂质的一种装置。

<Source>^军事大辞海 2000^

<Concept field>催化器

<Related words>^柴油颗粒过滤器^, ^汽油机颗粒物捕集器^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>filtro DPF

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Source>^Antonelli 2016^:42

<Definition>Dispositivo inventato a metà degli anni '80, finalizzato ad intrappolare la porzione solida del PM. Il filtro DPF è composto di un ^monolite a nido d'ape^ in ^cordierite^ con struttura ^wall-flow^. Poiché dopo un certo intervallo di tempo le pareti del monolite si ostruiscono, è necessario iniettare carburante per alzare la temperatura dello scarico e rigenerare il dispositivo.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “filtro DPF” e “柴油颗粒过滤器” esiste piena identità concettuale.

<it>filtro antiparticolato

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>common

<Source>^Sarti 2018^:9

<zh>柴油颗粒过滤器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^包/程 2018^:83

<Definition>根据工作原理分为被动^再生^ (A) 和主动再生 (B)。被动再生，是指只要达到特定温度和压力条件，^过滤器^收集到的颗粒物就会被处理掉。主动再生，是指当车辆达不到特定反应条件，需要系统主动的创作条件来处理颗粒物（比如，加热）。最大缺点是，柴油含硫量高，尾气会常常堵塞 DPF。

<Source>^姚等 2018^:7

<Concept field>催化器

<zh>柴油微粒过滤器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^郭等 2018^:12

<zh>DPF 系统

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Origin>hybrid

<Source>^我部等 2003^:4

<zh>DPF 催化器

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Origin>hybrid

<Source>^郭等 2018^:19

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>filtro GPF

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Antonelli 2016^:37

<Definition>Tecnologia usata sui motori a benzina a iniezione diretta, equivalente al filtro DPF per i motori diesel. È composto da un ^monolite ceramico a nido d'ape^ con struttura ^wall-flow^. È stato commercializzato in massa dall'azienda tedesca Daimler nel 2014 e si è diffuso in larga scala in Europa nel 2017 in seguito alla nuova legislazione europea 6d-TEMP.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “filtro GPF” e “汽油机颗粒物捕集器” esiste piena identità concettuale.

<zh>汽油机颗粒物捕集器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^鲍等 2017^:220

<Definition>汽油机颗粒捕集器是一种安装在汽油发动机排放系统中的^壁流式^陶瓷过滤器。GPF的^载体^为蜂窝陶瓷，高比表面涂层为^氧化铝^。

<Source>^杨/陈 2020^:6

<Context>^壁流式^GPF是降低汽油机排气中颗粒物排放的主流技术。按照^载体^材料划分，研究较多的为^堇青石^和碳化硅（SiC）两种。由于堇青石基的汽油机颗粒物捕集器具有较低的膨胀系数、良好的抗热冲击性，获得了广泛的应用。

<Source>^鲍等 2017^:220

<Concept field>催化器

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>tecnologia chimica/chimical technology

<it>fibre ceramiche refrattarie

<Morphosyntax>noun group, f., pl.

<Source>^Mafrin 2014^:18

<Definition>Fibre artificiali vetrose (silicati), che presentano un'orientazione casuale e un tenore di ossidi alcalini e ossidi alcalino-terrosi ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$) pari o inferiore al 18% in peso.

<Source>^Campurra 2013^:349

<Concept field>ceramiche

<Related words>^materassino^, ^filatura per fusione^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “fibre ceramiche refrattarie” e “耐火陶瓷纤维” esiste piena identità concettuale.

<zh>耐火陶瓷纤维

<Morphosyntax>noun group

<Source>^刘 2015^:53

<Definition>在金属冶炼行业用的高温耐火陶瓷材料中,耐火陶瓷纤维是一种纤维状轻质耐火材料,具有重量轻、耐高温、热稳定性好、导热率低、比热小及耐机械

震动等优点,因而在机械、冶金、化工、石油、陶瓷、玻璃、电子等行业都得到了广泛的应用。

<Source>^周 2018^:1

<Concept field>陶瓷

<Related words>^衬垫^, ^熔融纺丝^

<Type of relation>general

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>materials engineering/ingegneria dei materiali

<it>filatura per fusione

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>main term

<Source>^Natta/Compostella 1968^:784

<Lexica>Attestato in ^Garzanti 2003^

<Definition>Processo per la produzione di fibre sintetiche: si richiede uno stiro preliminare dell'insieme di bavelline (filamenti di una fibra naturale o di una fibra sintetica estrusa) uscenti dalla filiera di ^estrusione^ del polimero ammorbidito a caldo (*cavo di filatura*) in corrente d'aria raffreddante, cui segue una stirotorcitura su macchine veloci.

<Source>cfr. ^Garzanti 2003^

<Context>Tra le nuove fibre sviluppate industrialmente nell'ultimo decennio, una particolare importanza presentano quelle polipropileniche, a causa del loro basso costo dovuto al basso prezzo della materia prima, propilene, alla semplicità dei metodi di polimerizzazione che consentono oggi di ottenere polimeri stericamente puri dotati di alte cristallinità, e alla facilità di filatura per fusione per estrusione del polimero.

<Source>^Natta/Compostella 1968^:784

<Concept field>lavorazione dei materiali

<Related words>^materassino^, ^lana minerale^, ^fibre ceramiche refrattarie^,

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “filatura per fusione” e “熔融纺丝” esiste piena identità concettuale.

<it>melt spinning

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Raccanello 2015^:7

<zh>熔融纺丝

<Morphosyntax>noun group

<Source>^李 2013^:327

<Definition>熔融纺丝是将原料加热熔融，通过喷丝孔挤出，在空气中冷却固化形成纤维的纺丝方法，具有对设备要求简单、无需溶剂、污染小和工作环境好的优点。

<Source>^赵等 2019^:4

<Concept field>材料加工

<Related words>^沉淀^, ^耐火陶瓷纤维^, ^矿棉^

<Type of relation>general

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>flow-through

<Morphosyntax>adj. group

<Source>^Palma/Barba 2013^

<Definition>Si dice di convertitore monolitico in cui il flusso di gas è forzato a passare attraverso i canali del monolite, tutti aperti alle estremità, da un estremo all'altro dello stesso.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Generalmente, i catalizzatori che sono in grado di ridurre gli agenti inquinanti comprendono piccole quantità di metalli nobili (platino, palladio o rodio) dispersi su vari tipi di supporti inerti (ossido di alluminio, ossido di cerio o ossido di lantanio). Alcuni sistemi commerciali sono disponibili sul mercato. Essi sono costituiti da monoliti *flow-*

through di ^{^cordierite^} con un ^{^washcoat^} di Al₂O₃ con aggiunta di CeO₂ e La₂O₃, in cui è dispersa una piccola quantità (1-3% in peso) di Pt.

<Source>^{^Palma/Meloni 2013^}:13

<Concept field>convertitori catalitici

<Related words>^{^monolite^}

<Type of relation>general

<Related words>^{^wall-flow^}

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “flow-through” e “直通式” esiste piena identità concettuale.

<zh>直通式

<Morphosyntax>adj.

<Source>^{^李 2019^}:34

<Definition>由于其比表面积大，可以负载足够的贵金属等催化^{^活性组分^}，在高温的汽车尾气通过时，废气中的 CO、HC 和 NO_x 三种气体，会进行氧化还原化学反应，生成无毒的水(H₂O)，二氧化碳和氮气，使汽车尾气得以净化，使排除的尾气达到排放标准。可用于汽油车或者柴油车尾气排气管中减少尾气排放。

<Source>^{^郭等 2018^}:13

<Context>直通式 ^{^载体^}、DPF 产品主要应用于柴油车尤其重型柴油车尾气处理，VOCs 废气处理设备主要应用于石化、印刷、医药、电子等行业挥发性有机物的处理。

<Source>^{^李 2019^}:34

<Concept field> 催化器

<Related words> ^载体^

<Type of relation> general

**

<Subject> engineering/ingegneria

<Subfield> chemical engineering/ingegneria chimica

<it> impregnazione

<Morphosyntax> f.

<Source> ^Palma/Meloni 2013^:22

<Definition> È il metodo principale per fare aderire la ^fase attiva^ di metalli nobili al ^supporto secondario^: il supporto viene impregnato in una soluzione di sali del metallo in questione, che fungono da precursori e si distribuiscono nella sua struttura porosa.

<Source> ^Bestoso 2021^

<Context> I filtri catalitici sono stati preparati mediante ripetuti cicli di impregnazione dei supporti nella soluzione acquosa dei precursori, essiccazione in stufa e ^calcinazione^ in muffola, fino ad ottenere il carico voluto di specie attive.

<Source> ^Palma/Meloni 2013^:22

<Concept field> tecniche per la preparazione dei convertitori catalitici

<Related words> ^monolite^, ^washcoat^

<Type of relation> general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “impregnazione” e “浸渍法” esiste piena identità concettuale.

<zh>浸渍法

<Morphosyntax>noun

<Source>^李 2013^:327

<Definition>浸渍法的负载过程，首先是制备^助剂^溶液或浆液，然后采用浸渍法或等量浸渍的方法将助剂前驱体浸渍到^氧化铝^ ^涂层^上。浸渍法是浸渍液在涂层孔道内^吸附^—溶解平衡的过程，这种平衡过程与孔道的特性、溶液的浸润能力及溶液质量等因素有关。浸渍法可使助剂很均匀地分散在涂层中。

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Context>不同的催化剂需要不同的制备方法。目前固体催化剂的几种主要制备方法包括：^沉淀法^、^离子交换法^、浸渍法、^熔融纺丝^和^溶胶凝胶法^等。

<Source>^李 2013^:327

<Concept field>催化转化器的制备技术

<Related words>^载体^, ^涂层^

<Type of relation>general

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>invecchiamento

<Morphosyntax>m.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Definition>Per simulare il comportamento di un ^convertitore catalitico^ nell'interezza del suo ciclo di vita esso viene sottoposto a invecchiamento: si effettuano dei test di laboratorio che mettono alla prova il dispositivo testandone la resistenza in seguito a centinaia di migliaia di km, nelle condizioni più disparate, modificando fattori quali la velocità, il carico, il rapporto A/F e la temperatura di scarico.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Nel tempo si verificano diversi processi che inducono una perdita di efficienza nei convertitori catalitici, quali la degradazione termica e meccanica: una conoscenza approfondita dei processi di invecchiamento del dispositivo può consentire una stima della tempistica degli interventi di manutenzione e/o sostituzione, in condizioni standard di guida.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Concept field>processi meccanici

<Related words>^disattivazione^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “invecchiamento” e “老化” esiste piena identità concettuale.

<zh>老化

<Morphosyntax>noun

<Source>^王/冯 2005^:230

<Definition>从^烧结^速率以及反应速率建立了包含劣化过程的^三效催化转化器^的劣化特性模型,对三效催化转化器^老化^特性进行数值仿真。在三效催化转化器 100000km 老化后,HC、CO、NO_x 三种气体的转化效率都降低 20%以上。

<Source>^刘 2008^

<Context>^催化转化器^中发生的是在催化层上的非均相反应。可靠的化学动力学表达式是转化器建模时所需要的,而因为实际应用于汽车的催化剂组分和^涂层^多变,汽车运行工况复杂和^催化剂^的老化,建立确切可靠的动力学表达式很困难。

<Source>^王/冯 2005^:230

<Concept field>机械过程

<Related words>^失活^

<Type of relation>coord.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>involucro

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:126

<Definition>Anche detto guscio, è lo strato più esterno del ^convertitore catalitico^. Esercita un'elevata pressione per tenere insieme le sue parti e contrastare fenomeni di contropressione e di vibrazione. È solitamente composto di acciaio inossidabile ferritico.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Related words>^austenite^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “involucro” e “壳体” esiste piena identità concettuale.

<it>guscio

<Morphosyntax>m.

<Usage label>common

<Source>^Miotello 2012^:27

<zh>壳体

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^王/冯 2005^:230

<Definition>^三元催化器^的壳体通常是双层结构，防止三元催化器氧化层脱落，其材料主要是^奥氏体^或镍铬耐热铁素体等不锈钢板。在壳体生产过程中，钢板通常被冲压成两块，然后沿钢板表面与法兰焊接封装。三元催化器外壳应符合下

列要求：壳体的热膨胀系数小，材料耐腐蚀性强，壳结构具有良好的强度和刚度，壳体的形状满足空气动力学要求。

<Source>^北京市交通行业节能减排中心 2014^:28

<Concept field>催化器的部件

<Related words>^奥氏体^

<Type of relation>general

<zh>外壳

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Source>^李2013^:327

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>isolante

<Morphosyntax>m.

<Source>^Montenegro/Onorati 2001^:2

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Sostanza in grado di limitare la conduzione del calore. Questa funzione è svolta dal ^materassino^ nei convertitori catalitici.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/isolante>, (2021)

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Related words>^vermiculite^

<Type of relation>sub.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “isolante” e “隔热罩” esiste piena identità concettuale.

<zh>隔热罩

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨等 2008^:113

<Definition>在^三元催化器^外部包着半圈的隔热罩，其作用是减少车辆底盘承受三元催化器的高温，也防止由于三元催化器表面温度过高引起火灾。

<Source>^北京市交通行业节能减排中心 2014^:28

<Context>实例说明发动机排气歧管及三元催化转化器的隔热罩对发动机甚至整车的 NVH（噪声、振动与声振粗糙度）水平影响非常大,通过分析说明了隔热罩噪声产生的原因及改进措施,应用实例表明将发动机排气歧管及三元催化器的隔热罩优化后取得了很好的效果。

<Source>^杨等 2008^:113

<Concept field>催化器的部件

<Related words>^蛭石^

<Type of relation>sub.

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>materials engineering/ingegneria dei materiali

<it>lana minerale

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Caldera et al. 2015^:15

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Fibre tessili di origine minerale. Tra le l. minerali, le più note sono la l. di scoria, prodotta con scorie metallurgiche allo stato fuso trasformate in masse filamentose, usate come materiale isolante; la l. di roccia, con gli stesi impieghi della l. di scoria, ricavata di solito con lave vetrose, fuse e trasformate in fibre; la l. di vetro, fibra di vetro usata come materiale isolante, come fibra tessile per tessuti incombustibili e resistenti agli agenti chimici, e per rinforzare carta, laminati plastici ecc.; la l. di acciaio, acciaio ridotto in fili sottilissimi, usato come materiale filtrante di gas e come abrasivo.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/lana/>, (2021)

<Concept field>scienze dei materiali

<Related words>^materassino^, ^filatura per fusione^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “lana minerale” e “矿棉” esiste piena identità concettuale.

<zh>矿棉

<Morphosyntax>noun

<Source>^肖等 2014^:1689

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>矿棉及其制品质轻、耐久、不燃、不腐、不受虫蛀等，是优良的隔热保温、吸声材料。由硅酸盐熔融物制得的棉花状短纤维，包括矿渣棉、岩棉、玻璃棉和陶瓷纤维等，我国一般只指前两种。以冶金矿渣或粉煤灰为主要原料者称矿渣棉；以玄武岩等岩石为主要原料者称“岩棉”。

<Source>^youdao.com^,
<http://www.youdao.com/w/%E7%9F%BF%E6%A3%89/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Concept field>纺织科学

<Related words>^衬垫^, ^熔融纺丝^

<Type of relation>general

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>materassino

<Morphosyntax>m.

<Source>^Viglianco 2019^:6

<Definition>Componente intumescente che, una volta trattata in muffola, garantisce il corretto fissaggio e centraggio del ^substrato^ nel ^convertitore catalitico^.

<Source>^Caldera/De Sio 2016^: 17

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “materassino” e “衬垫” esiste piena identità concettuale.

<zh>衬垫

<Morphosyntax>noun

<Source>^郭等 2018^:8

<Definition>三元催化转化器在降低汽车排放污染物上起着关键性作用,衬垫是^催化器^中的重要部件,可以固定并支撑载体,使其不被破坏,同时起到密封和隔热的作用。衬垫相关参数设计的合理性直接影响催化器的封装及使用寿命。

<Source>^刘 2019^:1

<Context>^三元催化器^主要由^载体^、^催化剂^ ^涂层^和金属^外壳^等组成,其核心是具有蜂窝孔道结构的陶瓷圆柱体,因陶瓷不耐冲撞和震荡,所以外面^封装^铁壳,夹层为石棉衬垫以起到支撑和保护作用。催化剂就涂于陶瓷载体的孔道中, ^氧化铝^“涂层”用于增加表面积提高效率。

<Source>^郭等 2018^:8

<Concept field>催化器的部件

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>applied physics/fisica applicata

<it>membrana a scambio protonico

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Lazzaroni 2015^:193

<Variant of>PEM

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>La membrana a scambio protonico è il componente principale delle celle a combustibile usate nei veicoli a idrogeno. Consiste in un sottile foglio plastico che permette il passaggio agli ioni di idrogeno. La membrana è rivestita su entrambi i lati da particelle di leghe metalliche altamente disperse (in genere platino) che fungono da catalizzatori aiutando la scissione degli atomi di idrogeno.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^,
https://www.treccani.it/enciclopedia/energia_%28Il-Libro-dell%27Anno%29/, (2021)

<Concept field>trasmissione di energia elettrica

<Equivalence it-zh>Tra i termini “membrana a scambio protonico” e “质子交换膜” esiste piena identità concettuale.

<it>PEM

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>acronym

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Lazzaroni 2015^:194

<Variant of>membrana a scambio protonico

<zh>质子交换膜

<Morphosyntax>noun group

<Source>^侯等 2000^:379

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>质子交换膜是质子交换膜燃料电池的核心部件，对电池性能起着关键作用。它不仅具有阻隔作用，还具有传导质子的作用。全质子交换膜主要用氟磺酸型质子交换膜；nafion 重铸膜；非氟聚物质子交换膜；新型复合质子交换膜等。

<Source>^youdao.com^,
<http://www.youdao.com/w/%E8%B4%A8%E5%AD%90%E4%BA%A4%E6%8D%A2%E8%86%9C/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Concept field>输电系统

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>metalli del gruppo del platino

<Morphosyntax>noun group, m., pl.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Trifirò 2018^:3

<Variant of>PGM

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Comprendono ^palladio^, rutenio, ^rodio^, osmio, iridio. Si calcola che nella Terra la concentrazione di tali metalli sia dell'ordine di 30 ppm, ma la distribuzione dei vari elementi è tutt'altro che uniforme: dato il loro carattere siderofilo, infatti, si trovano più abbondanti nella zona metallica del nucleo terrestre, mentre nella litosfera, silicea, se ne calcola una presenza di $0,05 \div 0,5$ ppm. Inoltre l'espulsione dei magmi nelle eruzioni vulcaniche, la diversa densità dei componenti, le differenze di temperatura di fusione, i loro successivi movimenti sono responsabili di concentrazioni diverse degli elementi del gruppo in zone non molto profonde e in superficie, dove le azioni idrotermali e dei gas hanno provocato trasformazioni di vario tipo nei depositi *primari*; i prodotti così originatisi sono stati poi trasportati dalle acque superficiali dando origine a depositi alluvionali, *secondari*. I depositi primari più importanti sono quelli degli Urali, in Russia, e del Boshveld, in Sudafrica, dove si raggiungono concentrazioni in p. relativamente elevate.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^,

https://www.treccani.it/enciclopedia/platino_%28Enciclopedia-Italiana%29/, (2021)

<Concept field>metalli del platino

<Related words>^platino^

<Type of relation>sub.

<Related words>^catalizzatore^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “metalli del gruppo del platino” e “铂族金属” esiste piena identità concettuale.

<it>PGM

<Morphosyntax>m., pl.

<Category>initials

<Usage label>common

<Origin>loan word

<Source>^Sarti 2018^:18

<Variant of>metalli del gruppo del platino

<zh>铂族金属

<Morphosyntax>noun group

<Source>^陈/彭 2007^:27

<Lexica>按^百科知识数据辞典 2008^

<Definition>金属矿产资源之一。主要指^铂^、^钨^、钨、^铑^、铱、铱等 6 种金属。其中,铂的产量最大,用途最广,其次是钨。

<Source>^百科知识数据辞典 2008^

<Context>世界铂族金属资源形势受生产国(南非、俄罗斯、美国和加拿大)的经济状况和生产状况,国际市场的需求状况和世界经济状况等因素的影响。目前,铂钨是铂族金属中生产和消费的最主要矿产品。

<Source>^陈/彭 2007^:27

<Concept field>铂族金属

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>metodo dello scambio di ioni

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^D'alessandro 2002^

<Definition>Consiste nel sostituire uno ione A sulla superficie di un solido con uno ione B tramite interazioni elettrostatiche, quando il solido è portato a contatto con una soluzione contenente lo ione B. È un processo tipico delle zeoliti, la cui struttura possiede cariche negative in eccesso che devono essere compensate da cationi. Le zeoliti più note impiegate nella catalisi automobilistica sono le zeoliti scambiate con ioni di ferro e ioni di rame.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>tecniche per la preparazione dei convertitori catalitici

<Related words>^zeolite^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “metodo dello scambio di ioni” e “离子交换法” esiste piena identità concettuale.

<zh>离子交换法

<Morphosyntax>noun group

<Source>^谢等 2016^:1862

<Definition>此种催化剂载体一般为^沸石^，沸石在使用前先用铵盐或矿酸进行离子交换，则沸石上被引入氨离子或氢离子，然后将其放入一定量活性组分配成的离子溶液中，将活性离子交换到^载体^上。这种方法使^活性组分^的分散度更好，催化活性更高，但制备时间较长。

<Source>^李 2013^:327

<Context>固相离子交换法典型的合成步骤如下：将 Cu 盐或其氧化物与^分子筛^ ^载体^混合，经过机械球磨等方法将其混合均匀后，在适宜的高温焙烧程序下焙烧，即可获得最终^催化剂^。高温焙烧通常设置在 700 ~ 800°C，可促使活性金属分散至分子筛内部。

<Source>^谢等 2016^:1862

<Concept field>催化转化器的制备技术

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>monolite a nido d'ape

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Palma/Barba 2013^:10

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Monoliti – ceramici o metallici – costituiti da una serie di canali perlopiù quadrati o esagonali disposti orizzontalmente al flusso di gas esausti. Sul supporto monolitico è depositato un ulteriore supporto, generalmente a base di ^allumina^ (^washcoat^) per consentire un’elevata dispersione della ^fase attiva^ (a base di metalli nobili) e stabilizzare quest’ultima nelle condizioni di reazione.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, (2021)

<Context>La preparazione dei catalizzatori strutturati è stata effettuata a partire da supporti ceramici di ^cordierite^ in forma di monolite a nido d’ape da 226 cps (celle per pollice quadrato). I monoliti sono stati immersi nel ^washcoat^ di tipo commerciale avente una percentuale in peso di solidi iniziale (ossidi di ^cerio^ e di ^zirconio^) pari a 43,39%.

<Source>^Palma/Barba 2013^:10

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Related words>^substrato^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “monolite a nido d’ape” e “蜂窝载体” esiste piena identità concettuale.

<zh>蜂窝载体

<Morphosyntax>noun group

<Source>^李 2013^:327

<Phraseology>蜂窝陶瓷载体

<Definition>蜂窝载体为蜂巢状的[^]载体[^],其材料为陶瓷(如[^]堇青石[^]、富铝红柱石、莫来石、锂辉石、沸石、 α -Al₂O₃、氧化锆、二氧化钛、钛酸铝、透锂长石、硅铝酸盐及硅酸镁等)和金属合金。蜂窝状载体的蜂窝([^]窝室[^])截面有三角形、四方形和六角形等形状,载体断面形状一般以圆形和椭圆形为主。

<Source>[^]王等 1999[^]:4

<Context>目前用于汽车尾气净化的[^]催化剂[^] [^]载体[^]陶瓷蜂窝载体和整装式金属载体。陶瓷蜂窝载体气流阻力小、几何表面大、无磨损,但它的机械强度较差,热容量较大,在汽车冷启动时,载体不能快速升温达到催化反应所需温度,使废气催化转化效率低下。

<Source>[^]李 2013[^]:327

<Concept field>催化器的部件

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>ossidare

<Morphosyntax>verb

<Source>[^]Palma/Barba 2013[^]:33

<Lexica>Attestato in [^]Treccani.it, vocabolario[^]

<Definition>Trattare una sostanza o far reagire un elemento o un composto con ossigeno.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/ossidare>, (2021)

<Concept field>fenomeni chimici

<Related words>^ridurre^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “ossidare” e “氧化” esiste piena identità concettuale.

<zh>氧化

<Morphosyntax>

<Source>^王等 1999^:4

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>氧化，狭义的意思为氧元素与其他的物质元素发生的化学反应，也是一种重要的化工单元过程。广义的氧化，指物质失电子（氧化数升高）的过程。

<Source>^youdao.com^, <http://www.youdao.com/w/%E6%B0%A7%E5%8C%96/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>汽车尾气的净化就是通过^在^催化剂^表面进行的氧化和还原反应,把它们变为无害的 CO₂、H₂O 和 N₂ 而排出。本文就汽车尾气净化催化剂对^载体^的性能要求作一介绍,并就几种现用的载体进行了比较。

<Source>^王等 1999^:4

<Concept field>化学现象

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>palladio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Trifirò 2018^:4

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Elemento chimico di numero atomico 46, simbolo Pd. Il p. viene usato come catalizzatore in reazioni di idrogenazione, deidrogenazione, ossidazione. Ha trovata utilizzazione, insieme con il ^platino^, nelle marmitte catalitiche, dove si dimostra, rispetto a quest'ultimo, miglior controllore delle emissioni di idrocarburi incombusti nelle auto all'atto della loro messa in marcia e nei climi freddi; però il p. è più sensibile all'azione di impurezze contenute nella benzina, in particolare composti solforati e del piombo, perciò è utilizzabile nei paesi dove si dispone di benzina più 'pura' e dove le norme antinquinamento sono più restrittive.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/palladio/>, (2021)

<Concept field>metalli del platino

<Related words>^metalli del gruppo del platino^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “palladio” e “钯” esiste piena identità concettuale.

<zh>钯

<Morphosyntax>noun

<Source>^龚等 2007^:100

<Lexica>按^当代汉语词典 2001^

<Definition>金属元素。符号 Pd。银白色,有大量吸收氢气的特性。广泛用作氢化或脱氢的^催化剂^。钯的合金可用做牙科材料和装饰品。

<Source>^当代汉语词典 2001^

<Context>高温热老化是由于催化剂长期暴露在高温环境中,^活性组分^ ^铂^, ^铑^和钯等贵金属挥发, ^涂层^脱落, 其晶粒及^助剂^氧化铈的晶粒明显增大。

<Source>^龚等 2007^:100

<Concept field>铂族金属

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>pellet

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Porta et al. 2017^:4

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Nella tecnica, prodotto agglomerato a forma di granuli sferici, di solito di diametro fra 2 e 35 mm; i p. sono ottenuti mediante l'operazione di agglomerazione detta pellettizzazione che trasforma prodotti polverulenti in granuli sferici. I prodotti granulari ottenuti si utilizzano come fertilizzanti, carbone, argilla, ossidi metallici, minerali in genere, materie prime per cemento, per vetro, catalizzatori o supporti per catalizzatori, mangimi, prodotti alimentari, farmaceutici.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/pellet/>, (2021)

<Context>Si è osservato tuttavia come un aumento dell'acidità della soluzione impregnante abbia prodotto un progressivo aumento dello strato catalitico del pellet, fino all'ottenimento di catalizzatori uniformemente impregnati. I catalizzatori uniformi sono stati quindi testati sotto forma di pellet e sotto forma di polvere.

<Source>^Porta et al. 2017^:4

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Related words>^substrato^

<Type of relation>coord.

<Synonyms>granuli

<Equivalence it-zh>Tra i termini “pellet” e “颗粒” esiste identità concettuale relativa in quanto il termine “颗粒” gode di un'accezione più ampia.

<it>granulo

<Morphosyntax>m.

<Usage label>common

<Source>^Palma/Meloni 2016^:4

<zh>颗粒

<Morphosyntax>noun

<Source>^姚等 2018^:14

<Definition>颗粒状^载体^主要为球形,其材料为活性^氧化铝^ (可添加其它氧化物如 ZrO_2)。

<Source>^王等 1999^:4

<Context>汽车尾气净化^催化剂^的 ^载体^按形状可分为颗粒式和整体式两类。其中,颗粒状载体主要为球形,其材料为活性氧化铝。整体式载体主要为蜂窝状,其材料为陶瓷和金属合金。目前广泛使用的是整体式载体。

<Source>^姚等 2018^:14

<Concept field>催化器的部件

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>perovskite

<Morphosyntax>f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:9

<Definition>Sono materiali catalitici con formula ABO_3 . Le lettere A e B nella formula ABO_3 indicano due siti cationici occupati da ioni di metalli alcalini, alcalino-terrosi o di terre rare. Al sito B è possibile includere, contemporaneamente con gli ioni metallici, i

metalli nobili Pt, Pd e Rh, o altri metalli con funzione catalitica come Cu, in quantità minori rispetto ai catalizzatori tradizionali di $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Pt}$. Le perovskiti possiedono la proprietà di ^OSC^ e la proprietà auto-rigenerativa dei metalli nobili, che consente alla ^fase attiva^ di segregarsi dal reticolo formando nanoparticelle metalliche in ambiente riducente, in modo da non sinterizzarsi alle alte temperature. Questi cambiamenti strutturali vengono definiti “auto-rigenerativi”.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>In letteratura esistono differenti esempi di ^washcoat^ da depositare su supporti ceramici. Le metodologie di preparazione, i metodi di deposizione, i precursori utilizzati e le composizioni delle soluzioni sono molto variegata, ma i vari washcoat sono basati sull'utilizzo di quattro differenti sostanze: ^allumina^, perovskite, ossido di ^cerio^ oppure zeoliti.

<Source>^Palma/Barba 2013^:9

<Concept field>mineralogia

<Equivalence it-zh>Tra i termini “perovskite” e “钙钛矿” esiste piena identità concettuale.

<zh>钙钛矿

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨/兰 2013^:57

<Definition>是一类 ABO_3 结构的具有良好 O_2^- 和电子传导性能的混合导体。在 ABO_3 结构中，A 位金属离子具有较大的原子半径，一般为碱金属离子、碱土金属离子或稀土金属离子，位于体心并与 12 个 O_2^- 配位；而 B 则是原子半径较小的金属离子，一般为过渡金属离子，位于八面体中心并与 6 个 O_2^- 配位。钙钛矿结构中，A、B 位元素所起到的作用不同，其中 A 位元素主要起结构稳定作用，B

位元素主要起^{催化}作用。ABO₃ 结构中的 A 或 B 可以被其他金属全部或部分取代，通过调整其中 A、B、的种类和组成可提高其催化活性和稳定性。

<Source>^{陈等 2015}:601

<Context>钙钛矿型复合氧化物的非化学计量性和^{催化}组分的可变性，使得人们可通过选择合适替代物来控制金属离子的价态。由稀土元素和过渡金属元素组成的 ABO 钙钛矿结构^{催化剂}的特点如下：其一，对 CO 转化率很高，对 HC 净化率也较好；其二高温下稳定；其三抗 P、S 等^{中毒}能力强。

<Source>^{杨/兰 2013}:57

<Concept field>矿物学

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>platino

<Morphosyntax>m.

<Source>^{Trifirò 2018}:3

<Lexica>Attestato in ^{Treccani.it, enciclopedia}

<Definition>Elemento chimico, simbolo Pt, numero atomico 78. Il p. è un metallo bianco, lucente, duttile e malleabile. In natura è generalmente associato ad altri metalli del suo gruppo (rutenio, rodio, ^{palladio}, osmio e iridio), al ferro e al rame e, qualche volta, a piccole quantità di oro, nichel, manganese, piombo, mercurio. I principali settori

d'impiego del p. sono: la preparazione di marmitte catalitiche, l'oreficeria, l'uso come ^catalizzatore^ nell'industria chimica.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/platino/>, (2021)

<Concept field>metalli del platino

<Related words>^metalli del gruppo del platino^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini "platino" e "铂" esiste piena identità concettuale.

<zh>铂

<Morphosyntax>noun

<Source>^陈/彭 2007^:27

<Lexica>按^当代汉语词典 2001^

<Definition>金属元素。符号 Pt。银白色,有光泽,富延展性,导热导电性能好,化学性质稳定。可以做坩埚、电极等,也用做^催化剂^。通称白金。

<Source>^当代汉语词典 2001^

<Concept field>铂族金属

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>physical engineering/ingegneria fisica

<it>porosità

<Morphosyntax>f.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:126

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In fisica, in tecnologia, è il rapporto tra il volume dei vuoti esistenti in una determinata porzione di un materiale e il volume complessivo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/porosita/>,
(2021)

<Context>Un ^convertitore catalitico^ è costituito da un ^involucro^ metallico che guida i gas combustibili attraverso un letto di ^catalisi^, dove vengono a contatto con sostanze capaci di accelerare notevolmente alcune reazioni chimiche, senza prendervi parte. Per avere una buona efficienza di conversione, occorre che il materiale attivo sia distribuito su una vasta area, in modo da favorire l'adsorbimento dei reagenti gassosi. In genere si usa un supporto ceramico, sulla cui superficie è depositato uno strato refrattario ad elevata porosità, a sua volta impregnato di materiale catalizzante.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:126

<Concept field>stati della materia

<Related words>^substrato^, ^washcoat^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “porosità” e “孔隙率” esiste piena identità concettuale.

<zh>孔隙率

<Morphosyntax>noun

<Source>^蔡/余 2007^:1328

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>孔隙率，是指块状材料中孔隙体积与材料在自然状态下总体积的百分比。

<Source>^youdao.com^,

<http://www.youdao.com/w/%E5%AD%94%E9%9A%99%E7%8E%87/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>^拟薄水铝石^组成的不确定性决定了其焙烧产物 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的孔隙率、孔径分布、比表面积和密度等性质因来源不同差别很大,这给掌握其制备规律带来了极大的困难。

<Source>^蔡/余 2007^:1328

<Concept field>物质状态

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>precipitazione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:9

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In chimica, separazione di una sostanza dal solvente in cui è disciolta, effettuata rendendo la sostanza stessa poco solubile mediante reattivi chimici, o portando la soluzione sopra il limite di solubilità della sostanza disciolta.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^,
<https://www.treccani.it/vocabolario/precipitazione/>, (2021)

<Concept field>fenomeni chimici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “precipitazione” e “沉淀法” esiste identità concettuale relativa in quanto il termine “precipitazione” gode di un’accezione più ampia.

<zh>沉淀法

<Morphosyntax>noun

<Source>^谢等 2016^:1865

<Definition>在搅拌的情况下把碱类物质(沉淀剂)加入金属盐类的水溶液中，生成水合金属氧化物或碳酸盐的沉淀物或凝胶，经洗涤、过滤、干燥、和焙烧，得要所需^催化剂^。

<Source>^李 2013^:327

<Context>沉淀法用于 Cu-SAPO-34 ^催化剂^的制备时，NaOH 和^尿素^都可以作为沉淀剂。以尿素为沉淀剂时，溶液 pH 随温度升高缓慢增加，沉淀反应温和均一，避免了直接加入沉淀剂造成的局部不均匀现象。

<Source>^谢等 2016^:1865

<Concept field>化学现象

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>precursore

<Morphosyntax>m.

<Source>^Porta et al. 2017^:18

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In chimica, con funzione di attributo, detto di sostanza che interviene o si è formata in uno stadio preliminare di una reazione o di un processo chimico o biochimico e che in seguito si è trasformata in un'altra o in altre sostanze

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/precursore/>, (2021)

<Context>Come precursore è stata utilizzata una soluzione commerciale di Ru-nitrosil-nitrato al 1.5%, che è stata opportunamente diluita per ottenere il carico finale desiderato.

<Source>^Porta et al. 2017^:18

<Concept field>solubilità

<Equivalence it-zh>Tra i termini “precursore” e “前驱物” esiste identità concettuale relativa in quanto il termine “precursore” gode di un’accezione più ampia.

<zh>前驱体

<Morphosyntax>noun

<Source>^李 2013^:327

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>前驱体是获得目标产物前的一种存在形式，大多是以有机-无机配合物或混合物固体存在，也有部分是以溶胶形式存在。前驱体这一说法多见于^溶胶凝胶法^、共^沉淀法^等材料制备方法中，但不是一个确切的科学术语，没有特定的概念。也有人把它定义为目标产物的雏形样品，即在经过某些步骤就可实现目标产物的前级产物。

<Source>^youdao.com^,

<http://www.youdao.com/w/%E5%89%8D%E9%A9%B1%E4%BD%93/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>是将活性物质在水或有机溶剂中形成均匀的溶液，溶质与溶剂发生醇解(或水解)或者离子的络合，在溶液中形成稳定的透明溶胶体系，经放置一定时间，胶粒间缓慢聚合，形成凝胶。凝胶经过干燥、热处理等过程转变成目标前驱体。

<Source>^李 2013^:327

<Concept field>溶解性

<zh>前驱物

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Source>^王/冯 2005^:231

<Context>^中毒^ ^失活^是由于毒物分子在催化剂表面活性部位上通过化学^吸附^形成强吸附物而阻碍了催化反应,以磷为例，其毒物前驱物 P_2O_5 ， H_3PO_4 等通过孔扩散及其与^催化剂^活性位，^载体^等的化学反应，形成沉积物黏附在催化剂微

孔入口处，引起活性位的覆盖和堵塞，从而导致催化剂的起燃时间延长，污染物排放大大增加。

<Source>^龚等 2007^:101

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>processo sol-gel

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Pastore 2014^

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>In chimica-fisica si definisce "sol" una dispersione (non una soluzione) colloidale di particelle, che costituisce un sistema liquido avente alcune proprietà prossime a quelle di un solido; queste dispersioni, che sono abbastanza stabili, possono essere destabilizzate dall'azione del calore, da variazioni di pH, da aggiunta di elettroliti dando così origine a un gel, sistema gelatinoso ricco di liquido, ma che presenta alcune proprietà dei solidi. La trasformazione sol-gel viene utilizzata sempre di più in diversi campi, per es. per preparare ossidi metallici a granuli molto fini impiegati nel campo dei prodotti ceramici e dei pigmenti o in campo nucleare, per ottenere film di ossidi e di metalli estremamente sottili e uniformi su substrati diversi

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/sol-gel_%28Enciclopedia-Italiana%29/, (2021)

<Concept field>solubilità

<Related words>^materassino^, ^washcoat^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “processo sol-gel” e “溶胶凝胶过程” esiste piena identità concettuale.

<zh>溶胶凝胶法

<Morphosyntax>noun group

<Source>^金等 2006^:61

<Definition>金属烷氧盐或金属盐等^前驱物^可在温和的条件下通过溶胶-凝胶法水解缩合成溶胶,经溶剂挥发或加热等处理使溶液或溶胶转化为网状结构的氧化物凝胶。

<Source>^杜/孔 2002^:882

<Context>溶胶-凝胶法提供了新的^催化剂^合成方法,用此方法使无定形或介态的氧化物相达到分子级混合,活性组分有效地嵌入网状结构,不易受外界影响而聚合、长大,对提高催化剂的稳定性和分散性有利。在改善催化剂的孔性能、反应选择性和收率方面有较好的表现。

<Source>^金等 2006^:61

<Concept field>溶解性

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>rapporto aria-combustibile

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Variant of>rapporto A/F

<Definition>Perché il ^convertitore catalitico^ possa svolgere la sua funzione trivalente con un'elevata efficienza, è necessario che il motore sia alimentato con un rapporto di aria-combustibile molto vicino allo stechiometrico: infatti un eccesso di O₂ libero nel gas combusto rende difficile la riduzione degli NO_x, mentre un suo difetto fa diminuire la probabilità di ossidazione di CO ed HC. Più precisamente, l'efficienza di conversione di tutti e tre gli inquinanti nel convertitore catalitico si mantiene superiore all'80% solo se il motore viene alimentato con un rapporto aria/combustibile attorno al valore stechiometrico, pari a 14,6.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:131

<Context>Per particolari regimi di guida, alcuni caratteristici del ciclo urbano, con rapide accelerazioni e decelerazioni, il rapporto aria/combustibile si allontana dal valore ottimale, causando una perdita di efficacia del dispositivo e un conseguente aumento delle emissioni inquinanti scaricate nell'atmosfera.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:123

<Concept field>tecnologia dei motori

<Equivalence it-zh>Tra i termini “rapporto aria-combustibile” e “空燃比” esiste piena identità concettuale.

<it>rapporto A/F

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form, initials

<Origin>hybrid

<Source>^Cioffi et al. 2001^:3

<Variant of>rapporto aria-combustibile

<zh>空燃比

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨/兰 2013^:57

<Definition>^三效催化剂^在发动机理论空燃比(A/F)为 14.17 附近的狭小窗口内三效催化效果最好。一个实用的技术就是采用闭环控制,即用氧传感器探测尾气中氧含量,把信号反馈给燃油喷射系统,以控制 A/F 位于理论值附近。

<Source>^王/冯 2005^:231

<Concept field>发动机技术

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>ricircolo dei gas esausti

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>long form

<Usage label>main term

<Source>^Lazzaroni 2015^:391

<Variant of>система EGR

<Definition>È una tecnologia usata per ridurre le emissioni di NO_x. Consiste in un sistema meccanico, non catalitico, che devia i gas di scarico combusti ricchi di H₂O, CO₂ e N₂, tramite una valvola, verso la camera di combustione, dove vengono miscelati nella nuova miscela aria-combustibile insieme all'aria fresca prelevata dall'esterno. Questo processo porta alla riduzione della concentrazione di O₂ e di conseguenza di NO_x.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Il ricircolo dei gas esausti (EGR) è gestito direttamente dalla centralina con un apposito elettroazionatore con controllo di posizione interno.

<Source>^Lazzaroni 2015^:391

<Concept field>sistemi di abbattimento dei gas di scarico

<Equivalence it-zh>Tra i termini “ricircolo dei gas esausti” e “废气再循环” esiste piena identità concettuale.

<it>система EGR

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form, initials

<Origin>hybrid

<Source>^Fornasiero 1996^:7

<Variant of>ricircolo dei gas esausti

<zh>废气再循环

<Morphosyntax>noun group

<Source>^郭等 2018^:6

<Definition>内燃机在燃烧后将排出气体的一部分分离出、并导入进气侧使其再度燃烧的技术，主要目的为降低排出气体中的 NO_x 与分担部分负荷时可提高燃料消耗率。EGR 的不足之处是，为柴油机加装 EGR 后动力下降油耗升高。

<Source>^姚等 2018^:7

<Context>汽车尾气排放物质限值标准大幅提升，仅凭机内措施难以满足排放标准。除升级油品质量外，汽车尾气治理措施主要包括机内措施和机外措施。机内措施通过改进发动机的结构，提高燃油效率使之尽可能充分燃烧，以降低有害物质的产生，主要包括 EGR 废气再循环控制系统、GDI 汽油机直喷技术、可变涡轮增压等方式。在国五阶段，仅凭机内技术就已经无法满足排放标准要求，需要加装特定的尾气催化器才能达到限值要求。

<Source>^郭等 2018^:6

<Concept field>废气减排系统

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>ridurre

<Morphosyntax>verb

<Source>^Lazzaroni 2015^:347

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>Far subire a una sostanza una reazione di riduzione, reazione che in passato indicava la sottrazione di ossigeno da un composto; in chimica organica, l'introduzione in un composto di uno o più atomi di idrogeno. Attualmente si parla di riduzione, indipendentemente dal fatto che all'operazione prendano o no parte idrogeno e ossigeno, ogni volta che un elemento, assumendo uno o più elettroni, passa da uno stato di ossidazione superiore a uno inferiore.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/riduzione/>, (2021)

<Context>Il trattamento catalitico favorisce la post-combustione di CO e HC, trasformandoli in anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O) e contemporaneamente riduce gli ossidi di azoto (NO_x) trasformandoli in azoto inerte (N).

<Source>^Lazzaroni 2015^:347

<Concept field>fenomeni chimici

<Related words>^ossidare^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “ridurre” e “还原” esiste piena identità concettuale.

<zh>还原

<Morphosyntax>verb

<Source>^李等 2018^:318

<Lexica>按^现代汉语大词典 2009^

<Definition>物质的原子获得电子的化学反应,也就是物质与氢化合或失去氧原子的过程。如氧化铁经过冶炼,失去氧而变成铁。

<Source>^现代汉语大词典 2009^

<Context>在稀燃排气中通过涂覆在 Al_2O_3 ^载体^上的碱及碱土金属氧化物如 K 或 Ba^吸附^ NO_x 形成硝酸盐或亚硝酸盐进行储存。在浓燃过程,排气中的还原性气体如 HC、CO 等将脱附出的 NO_x 还原为 N_2 , 使^催化器^及时释放出吸附位继续参与下一循环的^吸附^过程。

<Source>^李等 2018^:318

<Concept field>化学现象

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>rigenerazione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:130

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Procedimento tecnologico con il quale si cerca di riprodurre o di rinnovare lo stato o le proprietà iniziali di una sostanza.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^,
<https://www.treccani.it/enciclopedia/rigenerazione>, (2021)

<Context>La rigenerazione può attuarsi innescando la combustione del particolato all'interno della trappola (rigenerazione termica e/o catalitica) oppure, con nuove

metodologie attualmente in fase di sviluppo, mediante la loro asportazione fisica, che deve essere ovviamente automatica (rigenerazione meccanica).

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:130

<Concept field>processi chimici

<Related words>^filtro DPF^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “rigenerazione” e “再生” esiste piena identità concettuale.

<zh>再生

<Morphosyntax>noun

<Source>^郭等 2018^:12

<Definition>根据排气净化技术工作原理再生过程分为被动再生和主动再生。被动再生，是指只要达到特定温度和压力条件，过滤器收集到的颗粒物就会被处理掉。主动再生，是指当车辆达不到特定反应条件，需要系统主动的创作条件来处理颗粒物（比如，加热）。

<Source>^姚等 2018^:7

<Context>应用于柴油发动机尾气后处理的 SCR 催化剂以^钒^基 ^催化剂^和沸石催化剂为主。柴油机排放控制系统中的^柴油微粒过滤器^加热再生会使尾气温度达到 650°C 以上，正常的柴油引擎中的尾气温度在低负荷下是 150-250°C、高负荷下是 200-350°C，燃料利用率高的先进柴油机的尾气温度可能会更低。

<Source>^郭等 2018^:12

<Concept field>化学过程

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>rodio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Trifirò 2018^:4

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Elemento chimico, di simbolo Rh, numero atomico 45. Il r. è impiegato nella rodatura, nella fabbricazione di leghe, come ^catalizzatore^ in alcuni processi chimici (produzione di acido acetico, processi di carbonilazione, ossidazione dell'ammoniaca ecc.); si usa inoltre nella preparazione di contatti elettrici e in oreficeria.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/rodio>, (2021)

<Concept field>metalli del platino

<Related words>^metalli del gruppo del platino^

<Type of relation>super.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “rodio” e “铑” esiste piena identità concettuale.

<zh>铑

<Morphosyntax>noun

<Source>^陈/彭 2007^:27

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>铑，是一种银白色、坚硬的金属，具有高反射率。铑金属通常不会形成氧化物，熔融的铑会吸收氧气，但在凝固的过程中释放。铑的熔点比铂高，密度比^铂^低。铑不溶于多数酸，它完全不溶于硝酸，稍溶于王水。元素符号Rh，源自rhodon，意为“玫瑰”，因为铑盐的溶液呈现玫瑰的淡红色彩，1803年被武拉斯顿发现并分离。铑属铂系元素。

<Source>^youdao.com^, <http://www.youdao.com/w/%E9%93%91/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Concept field>铂族金属

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>tecnologia chimica/chimical technology

<it>schiuma ceramica

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Palma/Meloni 2016^:6

<Definition>Le schiume ceramiche compongono i substrati di alcuni dispositivi per la pulizia dei gas di scarico, per esempio il filtro DPF. Facilitano il trasferimento di calore ed il regime turbolento dei gas grazie alla loro elevata porosità. Si ottengono immergendo in uno ^slurry^ schiume organiche a celle aperte, per esempio le schiume di poliuretano, rimuovendo successivamente lo slurry in eccesso ed infine cuocendo la schiuma ottenuta.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context> Il meccanismo di filtrazione nelle schiume ceramiche è diverso da quello dei monoliti “ ^wall-flow^ ” ed è chiamato “deep bed filtration”. Secondo questo

meccanismo le particelle di particolato passano attraverso i pori e si depositano sulla superficie del ^filtro^ tramite contatto con la superficie stessa. I pori sono interconnessi tra di loro, formando una struttura tridimensionale; passando attraverso questa struttura le particelle di particolato seguono un percorso tortuoso e ad ogni collisione hanno la possibilità di aderire alla superficie ceramica.

<Source>^Palma/Meloni 2016^:6

<Concept field>ceramiche

<Related words>^substrato^

<Type of relation>coord.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “schiuma ceramica” e “泡沫陶瓷” esiste piena identità concettuale.

<zh>泡沫陶瓷

<Morphosyntax>noun group

<Source>^杜 2007^:871

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>泡沫陶瓷材料的发展始于 20 世纪 70 年代，是一种具有高温特性的多孔材料。其孔径从纳米级到微米级不等，气孔率在 20%~95%之间，使用温度为常温~1600°C。

<Source>^youdao.com^,

[http://www.youdao.com/w/%E6%B3%A1%E6%B2%AB%E9%99%B6%E7%93%B7/#keyfrom=dict2.top,\(2021\)](http://www.youdao.com/w/%E6%B3%A1%E6%B2%AB%E9%99%B6%E7%93%B7/#keyfrom=dict2.top,(2021))

<Context>当气体流经这种独特结构的^载体^时，由于气流与陶瓷内部的孔筋发生碰撞而改变方向，这样气体就在泡沫陶瓷的内部形成紊流，与具有通孔的蜂窝陶瓷内气体的流动不同，泡沫陶瓷作为载体时，增加了气体与载体的接触时间，同时也提高了载体^催化剂^与气体的接触机会。

<Source>^杜 2007^:871

<Concept field>陶瓷

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>chemical technology/tecnologia chimica

<it>setaccio molecolare

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Source>^Valdiviano Huertas 2010^:70

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>^Zeolite^ naturale o più spesso artificiale caratterizzata da una struttura altamente microporosa che conferisce al materiale la capacità di agire come un setaccio per le molecole; tale azione si fonda proprio sulle restrizioni geometriche delle aperture dei pori: soltanto le molecole che sono piccole abbastanza per passare attraverso la finestra di entrata delle cavità possono essere adsorbite sulla loro superficie interna. Il termine è peraltro usato anche per altre sostanze con comportamento analogo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/setaccio/>, (2021)

<Concept field>sostanze chimiche

<Synonyms>Sebbene il termine “setaccio molecolare” ed il termine “zeolite” siano spesso usati come sinonimi, il primo è iperonimo del secondo.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “setaccio molecolare” e “分子筛” esiste piena identità concettuale.

<it>^zeolite^

<Morphosyntax>f.

<Usage label>common

<Synonymy>(<)

<Source>^Palma/Barba 2013^:9

<zh>分子筛

<Morphosyntax>noun

<Source>^谢等 2016^:1860

<Definition>分子筛是结晶型的硅铝酸盐,具有均匀的孔隙结构。其中含有大量结晶水,加热时可气化除去,自然界中存在的称为沸石,人工合成的称分子筛。

<Source>^王等 1999^:5

<Context>近年来,以具有^菱沸石^ (chabazite, CHA) 结构的分子筛为^载体^负载 Cu 制备的 Cu-CHA 系列^催化剂^,因其优秀的 NH₃-SCR 活性和良好的水热稳定性,成为学者们关注的热点。

<Source>^谢等 2016^:1860

<Concept field>化学物质

**

<Subject>chemical technology/tecnologie chimiche

<Subfield>chemistry/chimica

<it>sinterizzazione

<Morphosyntax>f.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:132

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Operazione effettuata al fine di ottenere prodotti compatti, di forma e dimensioni determinate e con caratteristiche fisiche e meccaniche prestabilite, a partire da materiali polverulenti.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^,
<https://www.treccani.it/enciclopedia/sinterizzazione>, (2021)

<Context>Nel tempo diversi fattori provocano una progressiva perdita di funzionalità del convertitore catalitico, tra cui la sinterizzazione termica e l' ^avvelenamento^ dei siti catalitici sono i principali: la sinterizzazione altro non è che un processo di ricristallizzazione dei metalli nobili, causato dalle elevate temperature che il convertitore raggiunge in condizioni di carico elevato.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:132

<Concept field>fenomeni chimici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “sinterizzazione” e “烧结” esiste piena identità concettuale.

<zh>烧结

<Morphosyntax>noun

<Source>^龚等 2007^:104

<Lexica>按^铁合金辞典 1996^

<Definition>固态粉末状物料排除气孔、收缩体积、成为致密的具有一定强度的多晶体或块状体的焙烧过程。

<Source>^铁合金辞典 1996^

<Context>烧结和^中毒^是^三效催化转化器^老化的主要方式。贵金属烧结速率取决于温度和氧浓度，化学中毒引起催化剂失活的同时也会抑制催化剂颗粒的长大。

<Source>^龚等 2007^:104

<Concept field>化学现象

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it> sistema a circuito chiuso

<Morphosyntax>noun group, m.

<Source>^Antonelli 2016^:26

<Definition>Sistema di retroazione che mantiene le emissioni di un veicolo a livello stechiometrico grazie a un ^sensore di ossigeno^.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>systemi di abbattimento dei gas di scarico

<Equivalence it-zh>Tra i termini “sistema a circuito chiuso” e “闭环控制系统” esiste piena identità concettuale.

<zh>闭环控制系统

<Morphosyntax>noun group

<Source>^黎等 2000^:35

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>闭环控制系统是控制系统的一种类型。具体内容是指：把控制系统输出量的一部分或全部，通过一定方法和装置反送回系统的输入端，然后将反馈信息与原输入信息进行比较，再将比较的结果施加于系统进行控制，避免系统偏离预定目标。在催化转化器中，闭环控制系统的技术就是用^氧传感器^探测尾气中氧含量,把信号反馈给燃油喷射系统,以控制 A/F 位于理论值附近。

<Source>^youdao.com^, <http://youdao.com/w/闭环控制系统/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>电喷轿车的供油和尾气排放一般都采用闭环控制系统，即在排气管处也就是^三元催化器^的入口前部安装一个^氧传感器^，该传感器适时将检测到的三元催化器入口处的尾气中氧气的浓度，反馈到电喷控制系统来控制喷油量，从而精确控制空气和燃料的比例，使其保持在14.65附近，以此来保证三元催化器始终处于高效率的状态。

<Source>^黎等 2000^:35

<Concept field>废气减排系统

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>система CRT

<Morphosyntax>noun group, m.

<Category>short form

<Usage label>main term

<Source>^Livi/Trifirò 2007^:104

<Variant of>Continuously Regenerating Trap

<Definition>È costituito da un ^convertitore DOC^ con ^platino^, posto a monte di un ^filtro DPF^. In questo sistema, il DOC rimuove CO e HC dallo scarico, mentre ossida anche una parte dell'NO proveniente dal motore in NO₂, che reagirà con il PM nel filtro. In molte applicazioni le condizioni di scarico, come la temperatura e il rapporto NO_x/PM, consentono una ^rigenerazione^ continua; in condizioni di contropressione moderata il sistema non necessita di manutenzione o di una complessa strategia di rigenerazione attiva.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Questo sistema per il trattamento dei gas di scarico è stato brevettato dalla Johnson Matthey già nel 1989, ma ha visto la sua applicazione solo recentemente. Nel sistema CRT i gas di scarico fluiscono sopra un catalizzatore ossidante che abbate quasi completamente il CO e gli HC, lo stesso ^catalizzatore^ ossida l'NO a NO₂. L' NO₂ così

prodotta riesce ad eliminare la fuliggine intrappolata nel filtro successivo, in modo continuo a temperature tra 200 e 450 °C. Il vantaggio rispetto alla tecnica SCR è che la combustione avviene senza dosaggio di additivi già a temperature molto basse, con un rendimento superiore al 95%.

<Source>^Livi/Trifirò 2007^:104

<Concept field>convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “trappola CRT” e “连续再生过滤器” esiste piena identità concettuale.

<it>Continuously Regenerating Trap

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>long form

<Usage label>uncommon

<Origin>loan word

<Source>^Viglianco 2019^:7

<Variant of>trappola CRT

<zh>连续再生过滤器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^周等 2001^:23

<Definition>二氧化氮的连续再生型^DPF 系统^ (NO₂ 再生型 DPF 系统), 由上游的氧化催化剂与下游的^壁流动型^的过滤器构成。通过该上游的铂等的氧化催化

剂，将排气中的一氧化氮氧化，通过所产生的二氧化氮，将在下游的过滤器中俘获的 PM 氧化，形成二氧化碳，去除 PM。

<Source>^我部等 2003^:4

<Context>颗粒物过滤器产业化的关键技术是过滤器再生技术,被动燃烧再生技术系统是研究开发的重点,开发中的连续再生过滤器系统被认为是未来标准的配套技术,但需用超低硫柴油燃料。

<Source>^周等 2001^:23

<Concept field>催化器

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>tecnologia chimica/chemical technology

<it>slurry

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Definition>Miscela liquida con solidi in sospensione composta da ossidi inorganici, sali di ^PGM^, leganti organici e plastificanti, in cui viene immerso il ^substrato^ di un ^convertitore catalitico^.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>La tecnica dell'impregnazione consiste nell'immersione del supporto in una sospensione o slurry, seguita da estrazione a velocità controllata ed essiccazione.

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Concept field>ingegneria chimica

<Synonyms>sospensione

<Equivalence it-zh>Tra i termini “slurry” e “浆料” esiste piena identità concettuale.

<it>sospensione

<Morphosyntax>f.

<Usage label>common

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<zh>浆料

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Definition>采用适量的^助剂^及铂族金属盐加入到纳米 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉中制成的物质。浆料涂覆到蜂窝陶瓷载体上。

<Source>^王等 2002^:53

<Context>^浆涂法^负载^助剂^时，直接采用相应的金属氧化物粉末作为原料(如铈、锆氧化物固溶体颗粒)。采用研磨或超能球磨的方法，对助剂和氧化铝粉末的混合浆料进行充分研磨混合，制浆后再涂覆到^蜂窝陶瓷载体^上。

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Concept field>化学工程

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>sonda lambda

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>main term

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:134

<Lexica>Attestato in ^Editoriale Domus 2001^

<Definition>È il sensore che fornisce alla centralina le informazioni relative alla quantità di ossigeno presente nei gas di scarico. In questo modo l'elettronica può mantenere un'ottimale composizione della miscela aria-benzina. La sonda Lambda è indispensabile nelle vetture equipaggiate con marmitta catalitica a tre vie perché essa raggiunge la massima efficienza quando la carburazione è quanto più vicina al valore stechiometrico (14.7 kg di aria per ogni kg di benzina).

<Source>^Editoriale Domus 2001^

<Concept field>sistemi di abbattimento dei gas di scarico

<Synonyms>Il termine “sensore di ossigeno” è iperonimo del termine “sonda lambda”, tuttavia i due termini vengono spesso usati come sinonimi.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “sonda lambda” e “Lambda 浆料” esiste piena identità concettuale.

<it> sensore di ossigeno

<Morphosyntax> noun group, m.

<Usage label> common

<Synonymy> (~)

<Source> ^Buratti/Moretti 2003^:131

<zh> Lambda 探头

<Morphosyntax> noun group

<Usage label> main term

<Source> ^莱德曼等 2016^

<Definition> 三元催化器仅在狭窄的范围内对于化学计算的燃料空气混合气 ($\text{Lambda} = 1$) 具有对全部三种组成都足够的转换能力。因此在三元催化器的前面设置了 Lambda 探头, 使用该探头的输出信号, 可对燃料空气混合气的组成进行监控, 并且在必要时可进行修正。此外还可在三元催化器之后设置第二个 Lambda 探头。该探头是用于识别第一 Lambda 探头的偏差, 例如由于老化造成的漂移改变, 这样就可可在发动机控制器中考虑这种偏差。

<Source> ^韦迈耶等 2012^:3

<Concept field> 废气减排系统

<zh> 氧传感器

<Morphosyntax> noun group

<Usage label>common

<Synonymy>(~)

<Source>^黎等 2000^:35

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>sospensione colloidale

<Morphosyntax>noun group, f.

<Usage label>main term

<Source>^Di Palma 2019^:46

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In chimica fisica, sistema costituito dalla dispersione di una sostanza, detta *fase dispersa*, solida, liquida o gassosa, in un'altra, detta *fase disperdente*, che può essere anch'essa solida, liquida, gassosa. La soluzione colloidale di un solido in un liquido (detta *sol*) è più o meno stabile e per azione di diversi fattori (temperatura, agitazione, aggiunta di sostanze varie) può formare un precipitato o trasformarsi in una massa gelatinosa (*gel*).

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/colloide>, (2021)

<Concept field>solubilità

<Synonyms>colloide

<Equivalence it-zh>Tra i termini “sospensione colloidale” e “胶状分散体” esiste piena identità concettuale.

<it>colloide

<Morphosyntax>m.

<Usage label>common

<Source>^Di Palma 2019^:30

<zh>胶体

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^陈等 2015^:601

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>胶体又称胶状分散体是一种较均匀混合物，在胶体中含有两种不同状态的物质，一种分散相，另一种连续相。分散质的一部分是由微小的粒子或液滴所组成，分散质粒子直径在 1~100nm 之间的分散系是胶体；胶体是一种分散质粒子直径介于粗分散体系和溶液之间的一类分散体系，这是一种高度分散的多相不均匀体系。胶体不一定是胶状物，也不一定是液体。

<Source>^youdao.com^,
<http://www.youdao.com/w/%E8%83%B6%E4%BD%93/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>在^溶胶凝胶法^制备纳米 SrTiO₃ 过程中，提高反应温度不但大大地缩短成胶时间，同时还可提高胶体质量。为了获得晶粒和纯相产品需经过高温焙烧，焙烧气氛对^钙钛矿^氧化物的物理化学性质影响较大。

<Source>^陈等 2015^:601

<Concept field>溶解性

<zh>胶状分散体

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>common

<Source>^刘 2020^:327

**

<Subject>natural sciences/scienze naturali

<Subfield>chemistry/chimica

<it>stabilizzatore

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Cau/Murgia 2010^:4

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition>In chimica, sostanza che, aggiunta a un'altra sostanza o a un sistema chimico, ha la proprietà e la capacità di renderli più stabili, cioè di evitarne o di ritardarne l'alterazione nel tempo.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/stabilizzatore/>, (2021)

<Context>I catalizzatori Fe/Cr sono composti da un amalgama di ossidi di ferro e di cromo. La ^componente attiva^ dei catalizzatori è Fe₃O₄, mentre Cr₂O₃ funge da stabilizzatore al fine di prevenire fenomeni di ^sinterizzazione^ alle alte temperature.

<Source>^Cau/Murgia 2010^:4

<Concept field>sostanze chimiche

<Equivalence it-zh>Tra i termini “stabilizzante” e “稳定剂” esiste piena identità concettuale.

<it>stabilizzante

<Morphosyntax>m.

<Usage label>common

<Source>^Borsoi 2014^:17

<zh>稳定剂

<Morphosyntax>noun

<Source>^秦 2004^:91

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>广义地讲,能增加溶液、^胶体^、固体、混合物的稳定性能化学物都叫稳定剂。它可以减慢反应,保持化学平衡,降低表面张力,防止光、热分解或氧化分解等作用。

<Source>^youdao.com^, <http://www.youdao.com/w/稳定剂/#keyfrom=dict2.top>,
(2021)

<Context>在^催化剂^涂层中,一般添加稀土 La、Ce 和 Ba、Zr 等基本金属做为稳定剂和^助催化剂^,以改善^涂层^的热稳定性和增加储氧功能。

<Source>^秦 2004^:91

<Concept field>化学物质

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>substrato

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:128

<Definition>Anche detto supporto primario, è il supporto per il ^washcoat^ e per la ^fase attiva^. Può essere a ^pellet^, come nei primi convertitori catalitici, o a forma di ^monolite^, questa la tipologia più diffusa oggi. Il substrato può essere ceramico o metallico.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Il substrato può essere metallico o ceramico: l'uso del metallo come substrato permette di avere pareti più sottili, e quindi un maggior numero di celle per unità di superficie, minore contropressione e maggiore resistenza; d'altro canto il substrato ceramico presenta una maggiore adesione del ^catalizzatore^, minore sensibilità alla corrosione e minori costi.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:128

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “substrato” e “载体” esiste piena identità concettuale.

<it>supporto primario

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>uncommon, proposal

<Source>^Bestoso 2021^

<zh>载体

<Morphosyntax>noun

<Source>^雷等 2010^:24

<Lexica>按^卫生学大辞典 2000^

<Definition>负载固定液的情性固体。它的作用是提供一个大的情性表面,以便涂布上一层薄而均匀的固定液构成固定相。

<Source>^卫生学大辞典 2000^

<Context>^催化转化器^的性能受其流速分布特性影响很大,它直接影响到载体内^催化剂^的利用效率、热应力与压降大小,从而影响催化转化器的寿命和发动机的燃油经济性。

<Source>^雷等 2010^:24

<Concept field>催化器的部件

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>tecnica del rivestimento con slurry

<Morphosyntax>noun group, f.

<Source>^Palma/Barba 2013^:8

<Definition>Viene preparata una sospensione di γ -allumina con particelle più grandi rispetto alle particelle impiegate nelle tecniche di riempimento dei pori, preferibilmente tra 2 e 5 micron. La procedura generale prevede l'uso di un acido per disperdere l'^allumina^. Il ^monolite^ viene poi immerso nello ^slurry^ ed il liquido in eccesso viene rimosso soffiando aria compressa attraverso i canali. Si procede infine con l'essiccazione e la ^calcinazione^.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>tecniche per la preparazione dei convertitori catalitici

<Equivalence it-zh> Tra i termini “tecnica del rivestimento con slurry” e “浆涂法” esiste piena identità concettuale.

<zh>浆涂法

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Definition>采用浆涂法将适量的[^]助剂[^]及[^]铂族金属[^]盐直接加入到纳米 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉中，制成浆料涂覆到[^]蜂窝陶瓷载体[^]上。再经陈化、干燥及高温焙烧等过程制得[^]涂层[^]，然后制成相应的三元催化剂。

<Source>[^]王等 2002[^]:53

<Context>浆涂法负载[^]助剂[^]时，直接采用相应的金属氧化物粉末作为原料(如[^]铈[^]、[^]锆[^]氧化物固溶体颗粒)。采用研磨或超能球磨的方法，对助剂和氧化铝粉末的混合[^]浆料[^]进行充分研磨混合，制浆后再涂覆到[^]蜂窝陶瓷载体[^]上。

<Source>[^]杨/兰 2013[^]:56

<Concept field>催化器的制备技术

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>trappola LNT

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>short form

<Origin>hybrid

<Usage label>main term

<Source>[^]Zampina 2018[^]:11

<Lexica>Attestato in [^]Treccani.it, enciclopedia[^]

<Variant of>Lean NO_x Trap

<Definition>È un ^catalizzatore^ che non opera in regime stazionario, ma sono imposte variazioni cicliche nell’A/F. Durante la fase con composizione magra dell’alimentazione, ovvero in presenza di O₂, l’NO è ossidato dal metallo nobile a NO₂ e viene accumulato sulla superficie del catalizzatore prevalentemente in forma di nitrati superficiali per reazione con un secondo componente del catalizzatore avente la funzione di accumulo degli NO_x, tipicamente ossido di bario (BaO) o di altri metalli alcalini. Durante la fase con composizione ricca della miscela di reazione, gli NO_x accumulati sul catalizzatore vengono ridotti a N₂ per reazione con il CO, con l’H₂ e con gli idrocarburi presenti nella miscela di reazione. Questa tecnologia può essere applicata a motori a combustione magra o diesel e permette di ottenere elevate conversioni di NO_x.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, (2021)

<Concept field>convertitori catalitici

<Synonyms>Mentre le espressioni “trappola LNT” e “Lean NO_x Trap” pongono l’accento sulle condizioni in cui opera la trappola, cioè in condizioni magre, le espressioni “sistema NSR” e “sistema ad accumulo-riduzione per NO_x” ne sottolineano la funzione.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “trappola LNT” e “稀燃 NO_x 捕集器” esiste piena identità concettuale.

<it>Lean NO_x Trap

<Morphosyntax>noun group, f.

<Category>long form

<Usage label>uncommon

<Origin>loan word

<Source>^Zampina 2018^:11

<Variant of>trappola LNT

<it>sistema NSR

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>common

<Origin>hybrid

<Source>^Estorelli/Salvati 2014^:57

<it>sistema ad accumulo-riduzione per NO_x

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>common

<Source>^Lietti 2004^:61

<Context>Tra le tecniche più promettenti per la rimozione degli NO_x in presenza di ossigeno stanno prepotentemente venendo alla ribalta i cosiddetti sistemi ad accumulo-riduzione di NO_x o NO_x Storage-Reduction (NSR). I sistemi catalitici NSR, recentemente proposti dalla Toyota, sono costituiti da un supporto (ad esempio allumina) sul quale sono dispersi un elemento alcalino o alcalino-terroso (ad esempio Ba) che opera l'accumulo degli NO_x e uno o più metalli nobili (Pt, Rh) che operano la riduzione degli NO_x adsorbiti. La rimozione degli NO_x avviene attraverso uno schema di lavoro ciclico che prevede l'alternanza tra una fase di normale funzionamento del motore in condizioni magre (durante la quale si ha l'adsorbimento degli NO_x sull'elemento alcalino o alcalino-terroso), e una breve fase riducente ottenuta facendo lavorare il motore in condizioni "ricche", durante la quale si ha la riduzione delle specie NO_x adsorbite.

<Source>^Lietti 2004^:61

<zh>稀燃 NO_x 捕集器

<Morphosyntax>noun group

<Source>^鲍等 2017^:222

<Definition>稀燃NO_x捕集器在发动机稀浓燃交替变换下实现NO_x的^吸附^与^还原^。在稀燃排气中通过涂覆在Al₂O₃ ^载体^上的碱及碱土金属氧化物如K 或Ba 吸附NO_x形成硝酸盐或亚硝酸盐进行储存。在浓燃过程，排气中的还原性气体如HC、CO 等将脱附出的NO_x还原为N₂，使^催化器^及时释放出吸附位继续参与下一循环的吸附过程。

<Source>^李等 2018^:317

<Context>控制汽油车排放的研究方向集中在^三元催化器^（TWC）与颗粒物捕集器（GPF）的组合式四元催化系统上，柴油车以稀燃 NO_x 捕集器（LNT）、NO_x 催化还原（SCR）及催化 SCR 技术为主。

<Source>^鲍等 2017^:222

<Concept field>convertitori catalitici

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>chemical engineering/ingegneria chimica

<it>urea

<Morphosyntax>f.

<Source>^Lietti 2004^:62

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Composto organico di formula $H_2NCO-NH_2$, da cui si ricava per idrolisi catalitica l'ammoniaca, usata per la riduzione selettiva degli NO_x nei dispositivi SCR.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/, (2021)

<Concept field>sostanze chimiche

<Related words>^diesel exhaust fluid^

<Type of relation>coord.

<Related words>^convertitore SCR^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “urea” e “尿素” esiste piena identità concettuale.

<zh>尿素

<Morphosyntax>noun

<Source>^谢等 2016^:1865

<Definition>一种极易溶的结晶含氮化合物 $CO(NH_2)_2$,在自然界中由蛋白质分解形成,工业上通常由氨和二氧化碳在加压下加热而合成。通过尿素喷射系统(俗称尿素泵)将32.5%浓度的尿素水溶液雾化后喷入排气管中与发动机尾气混合,尿素水溶液经过热解和水解反应生成氨气(NH_3),在^催化剂^的作用下氨气将柴油机尾气中有害的氮氧化物(NO_x)转化为无害的氮气(N_2)和水。

<Source>^郭等 2018^:7

<Concept field>化学物质

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>vanadio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Palma/Barba 2013^:5

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, vocabolario^

<Definition> Elemento chimico, di simbolo V, numero atomico 23. è un metallo grigio, resistente a molti agenti aggressivi, che si ricava da alcuni suoi minerali (per es., la roscoelite e la vanadite) o, come sottoprodotto, dalla lavorazione dei minerali di ferro, di titanio, di uranio e della bauxite, che spesso lo contengono; è usato, in piccole percentuali, nella preparazione di acciai speciali ad alto limite di snervamento, in particolari leghe ferrose resistenti ad alta temperatura, in leghe per magneti, in alcune ghise. Tra i suoi composti il più importante è il pentossido di v., che si presenta in cristalli giallo-rossastri, usato come catalizzatore di ossidazione, per la fabbricazione di vetri e ceramiche di colore giallo, ecc.

<Source>^Treccani.it, vocabolario^, <https://www.treccani.it/vocabolario/vanadio>, (2021)

<Concept field>metalli

<Equivalence it-zh>Tra i termini “vanadio” e “钒” esiste piena identità concettuale.

<zh>钒

<Morphosyntax>noun

<Source>^郭等 2018^:12

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>元素符号 V，银灰色金属，在元素周期表中属 VB 族，原子序数 23，原子量 50.9414，体心立方晶体,常见化合价为+5、+4、+3、+2。钒的熔点很高，常与铌、钽、钨、钼并称为难熔金属。有延展性，质坚硬，无磁性。具有耐盐酸和硫酸的本领，并且在耐气、耐盐、耐水腐蚀的性能要比大多数不锈钢好。室温下致密状态的金属钒较稳定，不与空气、水和碱作用，也能耐稀酸。

<Source>^youdao.com^, [\(2021\)](http://www.youdao.com/w/%E9%92%92/#keyfrom=dict2.top)

<Context>应用于柴油发动机尾气后处理的^SCR 催化剂^以钒基^催化剂^和^沸石^催化剂为主。柴油机排放控制系统中的^柴油微粒过滤器^加热^再生^会使尾气温达到 650°C 以上，正常的柴油引擎中的尾气温在低负荷下是 150-250°C、高负荷下是 200-350°C，燃料利用率高的先进柴油机的尾气温可能会更低。

<Source>^郭等 2018^:12

<Concept field>金属

**

<Subject>technology/tecnologia

<Subfield>tecnologia chimica/chemical technology

<it>vermiculite

<Morphosyntax>f.

<Source>^Viglianco 2019^:6

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Fillosilicato, appartenente al gruppo dei minerali argillosi, che, in seguito a riscaldamento, perde acqua, si rigonfia e assume forme vermicolari. Le v. trovano

applicazioni nella tecnica delle costruzioni come isolanti termici e acustici per riempimenti di intercapedini e per la confezione di massetti, intonaci e manufatti leggeri.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/vermiculite/>, (2021)

<Concept field>ceramiche

<Related words>^materassino^

<Type of relation>general

<Equivalence it-zh>Tra i termini “vermiculite” e “蛭石” esiste piena identità concettuale.

<zh>蛭石

<Morphosyntax>noun

<Source>^张 2006^:1

<Lexica>按^youdao.com^

<Definition>蛭石是一种天然、无机，无毒的矿物质，在高温作用下会膨胀的矿物。它是一种比较少见的矿物，属于硅酸盐。其晶体结构为单斜晶系，从它的外形看很像云母。蛭石是由一定的花岗岩水合时产生的。

<Source>^youdao.com^, <http://www.youdao.com/w/%E8%9B%AD%E7%9F%B3/#keyfrom=dict2.top>, (2021)

<Context>在陶瓷密封^衬垫^的组成成分中,蛭石的作用最为明显,它决定了陶瓷密封衬垫的热膨胀力特性和热膨胀厚度特性。

<Source>^张 2006^:1

<Concept field>陶瓷

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>wall-flow

<Morphosyntax>adj.

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Palma/Meloni 2013^:21

<Definition>Struttura tipica dei filtri DPF in cui i canali del ^monolite^ hanno una forma “a meandro”: un canale è aperto all’ingresso e chiuso all’uscita, mentre i canali adiacenti sono aperti all’uscita e chiusi all’ingresso, per fare in modo che il flusso di gas attraversi obbligatoriamente le pareti ceramiche del monolite stesso e per intrappolare il PM nella sua struttura porosa.

<Source>^Bestoso 2021^

<Context>Il modo più efficiente di diminuire significativamente, o addirittura eliminare, le emissioni inquinanti è di impiegare un sistema catalitico basato sull'ossidazione degli inquinanti: data in particolar modo la presenza del particolato carbonioso nei gas esausti, il miglior sistema di abbattimento è sicuramente sicuramente un ^filtro^ ceramico in forma di monolite a pareti filtranti di tipo wall-flow, caratterizzati da canali di ingresso e uscita alternativamente aperti e chiusi.

<Source>^Palma/Meloni 2013^:21

<Concept field>convertitori catalitici

<Related words>^substrato^

<Type of relation>general

<Related words>^flow-through^

<Type of relation>ant.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “wall-flow” e “壁流式” esiste piena identità concettuale.

<it>a canali ciechi alternati

<Morphosyntax>adj. group

<Usage label>uncommon

<Source>^Zampina 2018^:7

<zh>壁流式

<Morphosyntax>adj.

<Usage label>main term

<Source>^杜 2007^:870

<Definition>壁流式蜂窝陶瓷的工作原理是通过交替堵住蜂窝状多孔质陶瓷的孔两端，利用陶瓷的壁孔来过滤除去碳的微粒。其对碳粒的过滤效率可达90%以上，可溶性有机成分SOF(主要是高沸点HC)也能部分被捕集。用于柴油机或柴油车尾气排气管中，过滤掉尾气中的碳烟颗粒，进而达到消除黑烟的效果。

<Source>^郭等 2018^:13

<Context>实验样品为孔隙率为 80%的 SiC^泡沫陶瓷^, 并以壁流式^堇青石^蜂窝陶瓷作对比材料, 让陶瓷样品交替处于 1 000°C 的高温和室温(20°C)或约 10°C 的冷水中, 考察陶瓷样品破碎前能够承受的循环次数。

<Source>^杜 2007^:870

<Concept field>催化器

<zh>壁流动型

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>uncommon

<Source>^我部等 2003^:4

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>washcoat

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Palma/Barba 2013^:7

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Supporto, depositato sul ^substrato^ monolitico, generalmente a base di ^allumina^ per consentire un'elevata dispersione della ^fase attiva^ (a base di metalli nobili) e stabilizzare quest'ultima nelle condizioni di reazione.

<Source>cfr. ^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale-%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/>, (2021)

<Context>Nella preparazione dei campioni strutturati sono stati impiegate due diverse tecniche; in un caso si è scelto di partire da un washcoat a cui erano stati già aggiunti i sali precursori delle specie attive, e nell'altro aggiungendo le specie attive solo dopo la fase di deposizione del washcoat sul monolite, mediante ^impregnazione^ in una soluzione del sale ^precursore^.

<Source>^Palma/Barba 2013^:7

<Concept field>componenti dei convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “washcoat” e “涂层” esiste piena identità concettuale.

<it>coating

<Morphosyntax>m.

<Usage label>common

<Source>^Caldera et al. 2015^:12

<Context>Il coating deve essere in grado di aderire a superfici in SiC della matrice del filtro, resistere a temperature fino a 800°C, presentare buona tenuta ai gas, essere di facile applicabilità sulla superficie del ^filtro^.

<Source>^Caldera et al. 2015^:12

<it>rivestimento

<Morphosyntax>m.

<Usage label>common

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:126

<Context>Il ^monolite^ contiene dei piccoli canali, ognuno di circa 1 mm di diametro (300 – 600 canali per pollice quadrato) offrendo, così, una superficie adatta all'interazione dei gas di scarico con i metalli attivi. Questo è possibile grazie ad un rivestimento dei canali, detto ^washcoat^ che, rendendoli ruvidi, ne può aumentare la superficie effettiva fino a 7000 volte.

<Source>^Buratti/Moretti 2003^:126

<it>supporto secondario

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>proposal

<Source>^Bestoso 2021^

<zh>涂层

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^龚等 2007^:100

<Definition>^催化剂^的涂层是由一种或多种金属氧化物组成的复合型粉体材料。它不仅作为贵金属等^活性组分^的载体，增大催化活性表面，而且还通过与贵金属的协同作用机制，提高催化剂的活性、稳定性和抗中毒性。

<Source>^杨/兰 2013^:55

<Context>高温热^老化^是由于^催化剂^长期暴露在高温环境中，^活性组分^^铂^，^铑^和^钨^等贵金属挥发，涂层脱落，其晶粒及^助剂^氧化铈的晶粒明显增大。

<Source>^龚等 2007^:100

<Concept field>催化器的部件

<Related words>^氧化铝^

<Type of relation>general

<zh>涂覆

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Source>^郭等 2018^:14

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>zeolite

<Morphosyntax>m.

<Usage label>main term

<Source>^Palma/Barba 2013^:9

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Famiglia di minerali definibili strutturalmente come tectosilicati. Furono identificate per la prima volta (1756) da A.F. Cronstedt in piccole cavità di rocce di origine vulcanica, e chiamate z. («pietra bollente») in quanto, sottoposte all'azione del calore, perdevano acqua rigonfiandosi vistosamente. A causa della loro particolare struttura le z. naturali e sintetiche trovano largo impiego come scambiatori di ioni e come setacci molecolari. Le z. sono largamente usate anche come catalizzatori nell'industria petrolchimica e della raffinazione del petrolio. Il successo di questi catalizzatori è legato, oltre alla loro stabilità termica e alle caratteristiche acide piuttosto marcate, alla particolare struttura tridimensionale che dà un'alta area superficiale e la possibilità di ottenere una selettività sia per i reagenti sia per i prodotti per mezzo della variabilità delle dimensioni delle cavità.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/zeoliti/>, (2021)

<Concept field>mineralogia

<Synonyms>Sebbene il termine “ ^setaccio molecolare^ ” ed il termine “zeolite” siano spesso usati come sinonimi, il primo è iperonimo del secondo.

<Equivalence it-zh>Tra i termini “zeolite” e “沸石” esiste piena identità concettuale.

<it>^setaccio molecolare^

<Morphosyntax>f.

<Usage label>common

<Synonymy>(>)

<Source>^Valdiviano Huertas 2010^:70

<zh>沸石

<Morphosyntax>noun

<Usage label>main term

<Source>^李 2013^:327

<Lexica>按^现代汉语大词典 2009^

<Definition>又称泡沸石。含水的钙、钠、钡、锶、钾的铝硅酸盐矿物的总称。一般呈浅色,具玻璃光泽。工业上常用于净化或分离混合物,曾用于软化硬水。

<Source>^现代汉语大词典 2009^

<Context>沸石在使用前先用铵盐或矿酸进行离子交换,则沸石上被引入氨离子或氢离子,然后将其放入一定量活性组分配成的离子溶液中,将活性离子交换到^载体^上。这种方法使^活性组分^的分散度更好,催化活性更高,但制备时间较长。

<Source>^李 2013^:327

<Concept field>矿物学

<zh>^分子筛^

<Morphosyntax>noun

<Usage label>common

<Synonymy>(>)

<Source>^谢等 2016^:1860

**

<Subject>chemistry/chimica

<Subfield>inorganic chemistry/chimica inorganica

<it>zirconio

<Morphosyntax>m.

<Source>^Palma/Barba 2013^:10

<Lexica>Attestato in ^Treccani.it, enciclopedia^

<Definition>Elemento chimico appartenente al IV gruppo del sistema periodico, sottogruppo del titanio, con simbolo Zr, numero atomico 40. Molti composti organici dello z. trovano applicazione come sostanze essiccatrici in prodotti vernicianti, come agenti concianti, come catalizzatori di reazioni di polimerizzazione (per es., dell'etilene), per trattamenti idrofobi per tessuti e nella preparazione di pigmenti anticorrosivi.

<Source>^Treccani.it, enciclopedia^, <https://www.treccani.it/enciclopedia/zirconio>, (2021)

<Concept field>metalli

<Equivalence it-zh>Tra i termini “zirconio” e “锆” esiste piena identità concettuale.

<zh>锆

<Morphosyntax>noun

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Lexica>按^中国冶金百科全书:金属材料 2001^

<Definition>元素符号 Zr 原子序数 40,晶体结构密排六方,熔点 1852°C,海绵锆是制备锆合金、锆粉的主要原料。金属锆是一种广泛用于原子能工业中的难熔金属材料。

<Source>^中国冶金百科全书:金属材料 2001^

<Context>^浆涂法^负载^助剂^时,直接采用相应的金属氧化物粉末作为原料(如钽、锆氧化物固溶体颗粒)。

<Source>^杨/兰 2013^:56

<Concept field>金属

**

<Subject>engineering/ingegneria

<Subfield>mechanical engineering/ingegneria meccanica

<it>zone coating

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>main term

<Origin>loan word

<Source>^Iaccio 2006^:87

<Definition>Applicazione non uniforme del ^coating^ sul ^substrato^ in modo da ottimizzare l'uso dei metalli catalizzatori. Per esempio, una quantità maggiore di catalizzatori nell'area frontale del convertitore favorisce la conversione di CO e HC nelle fasi di avviamento a freddo.

<Source>^Bestoso 2021^

<Concept field>tecniche per la preparazione dei convertitori catalitici

<Equivalence it-zh>Tra i termini “zone coating” e “分区涂覆” esiste piena identità concettuale.

<it>zoning catalitico

<Morphosyntax>noun group, m.

<Usage label>proposal

<Origin>hybrid

<Source>^Bestoso 2021^

<zh>分区涂覆

<Morphosyntax>noun group

<Usage label>main term

<Source>^王等 2013^:7

<Definition>^催化转化器^采用分区涂覆，前置涂覆区和后置涂覆区通过贵金属的负载量进行功能分区，提高了贵金属^催化剂^的利用率，通过前后区域的耦合协同作用，有效减少了主动^再生^频率。

<Source>^张等 2020^:4

<Context>^涂覆^均匀后，将多余的浆料排出，然后将涂覆了催化层二的^载体^再放进^焙烧^炉中进行焙烧，将温度升温至 400°C，然后控制温度在 400°C~500°C，进行焙烧保温 6 小时，从而保证催化层二固化附着在载体上，焙烧结束后取出载体，即得到分区涂覆了催化层一和催化层二的载体，其中催化层一的轴向长度与催化层二的轴向长度的比例值为 1.0。

<Source>^王等 2013^:7

<Concept field>催化转化器的制备技术

<zh>分区组合

<Morphosyntax>noun group

<Source>^苏等 2020^:161

<Context>考虑到两种^分子筛^^催化剂^在不同温度范围内 SCR 反应活性的差异，将 Fe、Cu 分子筛催化剂进行分区及分层组合以拓宽组合催化剂的反应活性温窗。在标准 SCR 反应下,Fe 分子筛催化剂（总长度的 20%）布置在 Cu 分子筛催化剂上游为最佳分区组合;Fe 分子筛催化剂（总涂层厚度的 25%）涂覆在 Cu 分子筛催化剂上层为最佳分层组合，最佳分区组合布置在整个温度范围内能实现更高的 NO_x 转化率。

<Source>^苏等 2020^:161

**

SCHEDE BIBLIOGRAFICHE

<source>Anaclerio 2008

<Reference>Anaclerio, S., (2008) *Produzione di ceramici avanzati con tecnologie non convenzionali*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II.

**

<source>Antonelli 2016

<Reference>Antonelli D. (2016), *Evoluzione della limitazione di sostanze inquinanti e climalteranti nelle normative di omologazione per autoveicoli*, Tesi di Laurea, Università di Bologna.

**

<source>Auriemma 2013

<Reference>Auriemma, S. (2013). *Sviluppo e validazione di un modello CFD per la simulazione del processo di iniezione di soluzioni acqua urea nei sistemi di scarico di motori a CI*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>Borsoi 2014

<Reference>Borsoi, F. (2014). *Importanza della politica termica nella decomposizione selettiva non-catalitica di polipropilene*. Tesi di Laurea Magistrale, Università di Padova.

**

<source>Buratti/Moretti 2003

<Reference>Buratti C., Moretti E. (2003), *Strumenti tecnologici per la riduzione delle emissioni da autoveicoli*, APAT.

**

<source>Caldera et al. 2015

<Reference>Caldera, M., Lipari, D., De Sio, A., & Roberto, R. (2015). *Analisi sperimentale della rigenerazione di filtri catalitici wall-flow per la riduzione del particolato fine prodotto dalla combustione di biomassa legnosa*. Report, ENEA.

**

<source>Castiglioni 2012

<Reference>Castiglioni M., (2012), *Studio delle prestazioni di sistemi catalitici “3 vie” per l’abbattimento di emissioni di metano*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>Cau/Murgia 2010

<Reference>Cau, G., & Murgia, S. (2010). *Modellazione e sperimentazione del processo di wgs operato sul syngas proveniente da gassificazione del carbone che utilizza CO₂ come agente gasificante*. Report, ENEA.

**

<source>Cioffi et al. 2001

<Reference>Cioffi, V., Fiorenza, R., Gaudino, P., Marzullo, M., Senatore, A. (2001) *Analisi sperimentale della ripartizione di flusso in ingresso al convertitore catalitico in configurazione “close coupled”*. In *56° Congresso Nazionale ATI*.

**

<source>Crocì/Fichera 2015

<Reference>Crocì, M., Fichera, R.S. (2015). *Catalizzatori K-Ru supportati per la rimozione simultanea di NO_x e particolato in condizioni magre*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>D'alessandro 2002

<Reference>D'alessandro, E. (2002). *Sintesi e caratterizzazione elettrochimica di fosfati di zirconio funzionalizzati e loro impiego in membrane ibride a conduzione protonica*. Tesi di Laurea, Università di Perugia.

**

<source>Dimatteo 2020

<Reference>Dimatteo, A. (2020). *Studio delle trasformazioni dell'austenite negli acciai multifase innovativi*. Tesi di dottorato, Politecnico di Torino.

**

<source>Raccanello 2015

<Reference> Raccanello, F. (2015), *Studio della bagnabilità di superfici strutturate con nanofibre*, Tesi di Laurea, Università di Padova.

**

<source>Di Palma 2019

<Reference>Di Palma, L. (2019), *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.
Bologna: Società Editrice Esculapio.

**

<source>Estorelli/Salvati 2014

<Reference>Estorelli, E.R., Salvati, F. (2014). *Studio dell'effetto del metallo nobile sui sistemi catalitici Lean NOx Trap*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>Fornasiero 1996

<Reference>Fornasiero, P.G. (1996), *Materiali innovativi per convertitori catalitici a base di ceria e zirconia*. Tesi di Dottorato, Università di Trieste.

**

<source>Ghelfa 2019

<Reference>Ghelfa, A. (2019), *Progettazione e ottimizzazione di sistemi di post trattamento dei gas di scarico per motori Diesel mild-hybrid*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>Girardi/Di Maggio 2014

<Reference>Girardi, F., Di Maggio, R. (2014) *Sviluppo di mescole per la produzione di calcestruzzo per accumulo termico. Produzione di elementi d'accumulo di calore e valutazione del comportamento dopo trattamento termico*. Report, ENEA.

**

<source>Iaccio 2006

<Reference>Iaccio, I. (2006), *Sistemi di post trattamento dei gas di scarico di motori diesel*. Tesi di Dottorato, Università di Napoli.

**

<source>Lazzaroni 2015

<Reference>Lazzaroni S. (2015), *Tecnologia elettronica dell'automobile*, Bergamo Ponteranica: San Marco.

**

<source>Livi/Trifirò 2007

<Reference>Livi M., Trifirò F., (2007), “Premio nobel per la chimica 2007”, *La Chimica e l'Industria*, 89(11), 100-105.

**

<source>Lietti 2004

<Reference>Lietti L., (2004), “Abbattimento catalitico di NOx e particolato”, *La Chimica e l'Industria*, 86(8), 60-63.

**

<source>Natta/Compostella 1968

<Reference>Natta, G., Compostella, M. (1968), “Nuovi sviluppi delle fibre polipropileniche”. *La Chimica e l'Industria*, 50(7), 784-793.

**

<source>Mafrin 2014

<Reference>Manfrin F. (2014) *Materiali compositi per l'automotive*, Tesi di Laurea, Università di Padova.

**

<source>Margarita 2019

<Reference>Margarita G. (2019), *Sviluppo di un modello di simulazione di catalizzatori “scr on filter” per motori diesel automobilistici*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.

**

<source>Miotello 2012

<Reference>Miotello E. (2012), *Emissione di gas inquinanti da veicoli con motore a combustione interna e uso di convertitori catalitici per il loro abbattimento*, Tesi di Laurea, Università di Padova.

**

<source>Palma/Barba 2013

<Reference>Palma V., Barba D. (2013), *Dispositivi catalitici per l'abbattimento dell'H₂S da biogas*. Report, ENEA.

**

<source>Petitot 2009

<Reference>Petitot, J. (2009) Modelli dinamici di morfogenesi e teorie della forma. In *Discipline filosofiche*. XIX(1), 205-226. Macerata: Quodlibet.

**

<source>Sarti 2018

<Reference>Sarti, L. (2018), *Abbattimento di particolato carbonioso nei motori Diesel*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.

**

<source>Strocchi 2012

<Reference>Strocchi, A.G., (2012), *Sistemi Rh/CeO₂-Al₂O₃ per l'ossidazione catalitica del metano*, Tesi di Laurea Magistrale, Università di Bologna.

**

<source>Mangifesta 2009

<Reference>Mangifesta, P. (2009). *Semicelle SOFC: studio e produzione di elettroliti con processi a basso impatto ambientale*. Tesi di Laurea Magistrale, Università di Bologna.

**

<source>Martinelli et al. 2012

<Reference>Martinelli, M., Visconti, C.G., Lietti, L., Forzatti, P. (2012). *Studi e sperimentazione del processo di produzione di combustibili liquidi da carbone*. Report, ENEA.

**

<source>Montenegro/Onorati 2001

<Reference>Montenegro, G., Onorati, A. (2001). Modello fluidodinamico 1D per il calcolo dei flussi reagenti nei sistemi di scarico dei motori a ciclo Otto. In *56° Congresso Nazionale ATI*.

**

<source>Palma/Meloni 2013

<Reference>Palma, V., Meloni, E. (2013), *Sviluppo di dispositivi per la rimozione di inquinanti da emissioni gassose prodotte dalla combustione di biomassa solida*. Report, ENEA.

**

<source>Palma/Meloni 2016

<Reference>Palma, V., & Meloni, E. (2016). *Dispositivi filtranti catalitici a schiume ceramiche con celle aperte per il trattamento dei fumi di combustione delle biomasse*. Report, ENEA.

**

<source>Pastore 2014

<Reference>Pastore, B. (2014), *Catalizzatori a base di ferro e alluminio ottenuti tramite sol-gel o co-precipitazione per la sintesi di nanotubi di carbonio*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>Porta et al. 2017

<Reference>Porta, A., Falbo, L., Visconti, C. G., Lietti, L., Forzatti, P., Deiana, P., & Bassano, C. (2017). *Sintesi e testing di catalizzatori a base di rutenio per la produzione di SNG*. Report, ENEA.

**

<source>Trifirò 2018

<Reference>Trifirò F. (2018) “I metalli nobili, preziosi e rari”. *La Chimica e l’Industria online*, 2(5), 3-4.

**

<source>Valdiviano Huertas 2010

<Reference>Valdiviano Huertas, J. D. (2010). *Sistemi catalitici PtBa supportati su allumina per la rimozione simultanea di NO_x e particolato: effetto della presenza del particolato sulle prestazioni catalitiche*. Tesi di Laurea, Politecnico di Milano.

**

<source>Viglianco 2019

<Reference>Viglianco, G. (2019), *Ossidazione catalitica del particolato mediante catalizzatori nanostrutturati a base di ceria*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.

**

<source>Zampina 2018

<Reference>Zampina, M. (2018), *Catalizzatori nanostrutturati a base di ceria-praseodimia per l'abbattimento di particolato in presenza di NO_x nei motori diesel*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.

**

<source>Pigolotti/Salvi 2019

<Reference>Pigolotti, L., Salvi, A. (2019), *Experimental study of selective catalytic reduction catalysts and of AdSCR systems for liquefied natural gas-fuelled heavy duty vehicles*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

**

<source>Battistoni et al. 2012

<Reference>Battistoni, M., Scappaticci, L., Donadio, G., Grimaldi, C. N., Osbat, G. (settembre 2012), *Analisi e Progettazione di un “Urea Delivery Module” per Sistemi Catalitici SCR*. In *67° Congresso Nazionale ATI*.

**

<source>Zingarelli 1987

<Reference>Zingarelli N. (1987) *Il Nuovo Zingarelli. Vocabolario della lingua italiana*. A cura di M. Dogliotti e L. Rosiello. 11a edizione, Bologna: Zanichelli.

**

<source>Petrucci/Senofonte 2006

<Reference>Petrucci, F., Senofonte, O. (2006) (a cura di), *Elementi inorganici di interesse tossicologico: quantificazione in matrici ambientali, biologiche e alimentari*, 6(18). Rapporti ISTISAN, Roma: Istituto Superiore di Sanità.

**

<source>方等 2003

<Reference>方茂东, 程勇, 詹兴泉, 李孟良, 周梅生 (2003), 催化转化器老化试验相关性研究, 汽车工程, 25(1), 56-60-92

**

<source>陈 2006

<Reference>陈玲玲 (2006), 催化转化器内部流场的三维数值模拟, 硕士学位论文, 大连理工大学.

**

<source>汉典 2021

<Reference>汉典, in “zdic.net”, <https://www.zdic.net> (2021)

**

<source>贾等 2021

<Reference> 贾倩, 张斌, 王凯, 张兴凯, 钱庆一, 高凯雄, 张俊彦(2021), 催化超滑: 金催化作用下非晶含氢碳薄膜的工程超滑, 中国科学杂志, 51(04), 468-475.

**

<source>Treccani.it, enciclopedia

<Reference> www.treccani.it, *Enciclopedia online*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, <http://www.treccani.it/enciclopedia/> (2021)

**

<source>Treccani.it, vocabolario

<Reference> www.treccani.it, *Vocabolario online*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, <http://www.treccani.it/vocabolario/> (2021)

**

<source>张 2014

<Reference> 张巍 (2014), 堇青石合成的研究进展, 岩石矿物学杂志, 33(4), 747-762.

**

<source>周 2002

<Reference>周燕 (2002), 堇青石质蜂窝陶瓷载体的研究, 硕士学位论文, 武汉理工大学.

**

<source>Saechtling 2006

<Reference>Saechtling, H. (2006). *Manuale delle materie plastiche*. Milano: Tecniche nuove.

**

<source>Campurra 2013

<Reference>Campurra, G. (2013). *Manuale Medicina del lavoro 2013*. Assago: IPSOA.

**

<source>Garzanti 2003

<Reference>Redazione delle Garzantine, (2003), *L'Universale: Scienze*, vol 1, Milano: Garzanti.

**

<source>Caldera/De Sio 2016

<Reference>Caldera, M., & De Sio, A. (2016). *Analisi sperimentale di filtri a schiume ceramiche per la rimozione del particolato fine prodotto dalla combustione di biomassa legnosa*. Report, ENEA.

**

<source>Editoriale Domus 2001

<Reference>Tedeschini, M. (2001), *Dizionario dell'auto*, vol. 1, Editoriale Domus, Quattroruote, Bosch.

**

<source>youdao.com

<Reference>youdao.com, in “youdao.com”, <http://www.youdao.com> (2021)

**

<source>千篇 2021

<Reference>千篇汉语词典, in “cidian.qianp.com”, <https://cidian.qianp.com/>, 2021

**

<source>现代汉语大词典 2009

<Reference>阮智富, 郭忠新 (2009), 现代汉语大词典:上册, 上海:上海辞书出版社.

**

<source>杨/陈 2020

<Reference>杨晓丹, 陈夏琳(2020), 2019年中国蜂窝陶瓷行业概览. 科技成果, 头豹研究院

**

<source>周/陆 2020

<Reference>周泓杰, 陆镇桓 (2020), 柴油车后处理国VI技术简析, 汽车维护与修理 (06), 75-77

**

<source>王等 1999

<Reference>王亚军, 曾庆轩, 冯长根. (1999), 汽车尾气净化催化剂载体, 工业催化(06), 3-7.

**

<source>蔡/余 2007

<Reference>蔡卫权, 余小锋 (2007), 高比表面大中孔拟薄水铝石和 γ - Al_2O_3 的制备研究, 化学进展, 19(9): 1322-1330.

**

<source>谢等 2016

<Reference>谢利娟, 石晓燕, 刘福东, 阮文权 (2016), 菱沸石在柴油车尾气 NO_x 催化净化中的应用, 化学进展, 28(12): 1860-1869.

**

<source>景德镇陶瓷词典 2014

<Reference>石奎济, 石玮 (2014), 景德镇陶瓷词典. 南昌:江西人民出版社.

**

<source>李/林 2015

<Reference>李军良,林绳缤(2015),降低催化转化器载体在封装过程中被压碎方法(CN104801946A),北京:中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>王/冯 2005

<Reference>王亚军,冯长根.(2005)整装催化转化器数学模型研究进展.化学工业与工程(03),229-234+242.

**

<source>中国成人教育百科全书:化学·化工 1994

<Reference>林崇德,姜璐,王德胜(1994).中国成人教育百科全书:化学·化工.海口:南海出版公司.

**

<source>王 2002

<Reference>王红霞 (2002), 稀土掺杂过渡金属型汽车尾气净化催化剂的制备及其性能研究, 硕士学位论文, 中南大学.

**

<source>龚等 2007

<Reference>龚金科, 尤丽, 王曙辉, 吴钢, 伏军, 郭华, 杨汉乾 (2007), 三效催化转化器老化过程预测及数值仿真, 环境工程学报, 1(12): 100-104.

**

<source>杨等 2012

<Reference>杨林强, 许涛, 王东芳 (2012), CFD 技术在发动机排气系统设计中的应用, 汽车制造业, (3), 48-49.

**

<source>董 2008

<Reference>董理 (2008), 汽油机紧耦合式排气歧管振动特性研究, 硕士学位论文, 哈尔滨工程大学.

**

<source>姚等 2018

<Reference>姚鑫,周铮,段一帆,钟浩 (2018),解构纷繁复杂的尾气催化净化市场.科技成果,招商证券国际有限公司.

**

<source>鲍等 2017

<Reference>鲍晓峰,吕猛,朱仁成 (2017),中国轻型汽车排放控制标准的进展,汽车安全与节能学报 8(03),213-225.

**

<source>杨/兰 2013

<Reference>杨庆山,兰石琨 (2013),我国汽车尾气净化催化剂的研究现状,金属材料与冶金工程,41(01),53-59.

**

<source>李/刘 1998

<Reference>李佩珩,刘长林(1998),汽车催化转化器的研究与应用,世界汽车(12),
25-27.

**

<source>邹/吕 2018

<Reference>邹轲,吕林(2018),柴油掺烧甲醇发动机排放控制技术研究,内燃机
(06), 50-53+62.

**

<source>王/张 2009

<Reference>王仲鹏,张昭良(2009),碳烟颗粒在NO_x储存催化剂上的燃烧研究进
展,工业催化(04), 1-5.

**

<source>顾等 2012

<Reference>顾卫荣,周明吉,马薇,王玉丽(2012),选择性催化还原脱硝催化剂的研
究进展,化工进展(07), 1493-1500.

**

<source>索普/霍尔特 2019

<Reference>索普·T, 霍尔特·B (2019), 用于柴油机废气处理液贮存器的电气浸没式加热器 (CN110073084A), 北京: 中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>唐等 2012

<Reference>唐林, 李自成, 葛茜 (2012), 柴油机尾气处理液及应用, 交通节能与环保 (03), 23-27.

**

<source>精细化工辞典 1998

<Reference>王大全 (1998). 精细化工辞典. 北京: 化学工业出版社.

**

<source>中国冶金百科全书: 金属塑性加工 1999

<Reference>中国冶金百科全书总编辑委员会《金属塑性加工》卷编辑委员会 (1999). 中国冶金百科全书: 金属塑性加工. 北京: 冶金工业出版社.

**

<source>军事大辞海 2000

<Reference>熊武一, 周家法 (2000), 军事大辞海:上. 北京:长城出版社.

**

<source>包/程 2018

<Reference>包顿, 程天泽(2018), 铂族金属供需及市场价格展望, 贵金属 (02), 81-86.

**

<source>周 2018

<Reference>周美仕 (2018), 一种耐火陶瓷纤维烘干装置. 科技成果, 铜陵旭时新材料科技有限公司.

**

<source>刘 2015

<Reference>刘潇 (2015), 透析耐火陶瓷纤维及应用发展, 现代技术陶瓷 (05), 53-58.

**

<source>赵等 2019

<Reference>赵彤, 李敬毓, 韩伟健, 叶丽 (2019), 一种氧化铝连续纤维的熔融纺丝原料、其制备方法及其制得的氧化铝连续纤维 (CN108570725B), 北京: 中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>郭等 2018

<Reference>郭敏, 王剑雨, 王玉龙 (2018), 车用催化剂行业. 科技成果, 广发证券.

**

<source>李 2019

<Reference>李兴然, (2019), 奥福环保: 科创成色不足发展前景堪忧, 股市动态分析 (35), 34-35.

**

<source>刘 2008

<Reference>刘孟祥. (2008). 三效催化转化器高效长寿低排放优化设计理论及方法研究, 博士学位论文, 湖南大学.

**

<source>北京市交通行业节能减排中心 2014

<Reference>北京市交通行业节能减排中心 (2014), 出租车定期更换三元催化器运行模式与政策研究, 北京: 能源基金会.

**

<source>杨等 2008

<Reference>杨金才, 闵福江, 张亮, 李宏成, 丁艳平, 徐永江 (2008), 发动机隔热罩噪声分析及改进, 2008 中国汽车工程学会年会论文集, 113-116, 中国汽车工程学会: 中国汽车工程学会.

**

<source>肖等 2014

<Reference>肖永力,李永谦,刘茵,范建峰,石福志 (2014),高炉渣矿棉的研究现状及发展趋势,硅酸盐通报 (07),1689-1694.

**

<source>刘 2019

<Reference>刘敬凯, (2019),三元催化转化器衬垫设计研究,南方农机 50(01),34.

**

<source>侯等 2000

<Reference>侯中军,俞红梅,衣宝廉,韩明 (2000),质子交换膜燃料电池阳极抗 CO 催化剂的研究进展,电化学 (04),379-387.

**

<source>百科知识数据辞典 2008

<Reference>许力以,周谊 (2008),百科知识数据辞典,青岛:青岛出版社.

**

<source>陈/彭 2007

<Reference>陈喜峰, 彭润民 (2007), 中国铂族金属资源形势分析及可持续发展对策探讨, 矿产综合利用 (02), 27-30.

**

<source>李 2013

<Reference>李袁庆 (2013), 汽车尾气净化催化剂的研究和进展, 中国化工贸易, 5(6), 327.

**

<source>王等 1999

<Reference>王亚军, 曾庆轩, 冯长根 (1999), 汽车尾气净化催化剂载体, 工业催化 (06), 3-7.

**

<source>当代汉语词典 2001

<Reference>莫衡等 (2001), 当代汉语词典, 上海:上海辞书出版社.

**

<source>陈等 2015

<Reference>陈彦广, 张雷, 韩洪晶, 赵哲吉, 韩洪伟, 宋华 (2015), 钙钛矿型混合离子电子导体在能源转化中应用的研究进展, 化学通报 78(07), 601.

**

<source>杜/孔 2002

<Reference>杜宏伟, 孔璵 (2002), NMP 中制备 TiO_2 溶胶及其凝胶化, 应用化学, 19(9), 882-885.

**

<source>金等 2006

<Reference>金云舟, 钱君律, 伍艳辉 (2006), 溶胶-凝胶法制备催化剂的研究进展, 工业催化 (11), 60-63.

**

<source>杜 2007

<Reference>杜庆洋 (2007), SiC 泡沫陶瓷用作柴油机尾气净化催化剂载体的研究, 汽车工程 (10), 870-872+858.

**

<source>铁合金辞典 1996

<Reference>张显鹏 (1996), 铁合金辞典. 沈阳:辽宁科学技术出版社.

**

<source>黎等 2000

<Reference>黎维彬, 林纓, 韩浩玉, 郝吉明 (2000), 汽车尾气催化剂的应用现状及其市场分析, 环境保护 (11), 35-38.

**

<source>王等 2002

<Reference>王丽琼,王大祥,张兴燕,冯长根(2002),不同原料制备 γ - Al_2O_3 蜂窝陶瓷涂层的研究,工业催化 (03),52-55.

**

<source>韦迈耶等 2012

<Reference>韦迈耶·K,霍特泽尔·R,施奈贝尔·E(2012),用于调节废气清洁设备的氧气水准的方法(CN101210509B).北京:中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>莱德曼等 2016

<Reference>莱德曼 B.,贝福特 C.,赖施尔 R.(2016),用于监视宽带 Lambda 探头的方法(CN103998923B),北京:中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>刘 2020

<Reference>刘宗航(2020),一种胶状分散体体系下共价有机框架的合成方法,科学通报 65(05),327-328.

**

<source>秦 2004

<Reference>秦建武 (2004), 摩托车尾气催化净化技术原理与应用, 摩托车技术 (11), 91-97.

**

<source>卫生学大辞典 2000

<Reference>王翔朴, 王营通, 李珏声 (2000), 卫生学大辞典, 青岛:青岛出版社.

**

<source>雷等 2010

<Reference>雷春青, 张光德, 谷忠雨, 张旺, 李梦 (2010), 国内车用催化转化器模拟研究进展, 汽车科技 (04), 24-27.

**

<source>我部等 2003

<Reference>我部正志,今井武人,越智直文(2003),排气净化系统及其再生控制方法(CN1423035A),北京:中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>周等 2001

<Reference>周泽兴,王学中,李凯,华晓燕(2001),柴油车排气净化技术研究的进展,环境催化和机动车尾气污染控制技术国际研讨会论文集, pp.23-33, 中国稀土学会催化专业委员会、天津化工研究设计院:中国稀土学会.

**

<source>李等 2018

<Reference>李志军,曹丽娟,帅石金,申博玺,刘世宇,朱伶俐,吴越,(2018), CO₂浓度和排气温度对LNT吸附路径的影响,汽车安全与节能学报,9(3): 317-324.

**

<source>张 2006

<Reference>张文(2006),三效催化转化器及陶瓷密封衬垫评价系统研究与开发,硕士学位论文,武汉理工大学.

**

<source>中国冶金百科全书:金属材料 2001

<Reference>中国冶金百科全书总编辑委员会《金属材料卷》编辑委员会 (2001),
中国冶金百科全书:金属材料, 北京:冶金工业出版社.

**

<source>张等 2020

<Reference>张允华,楼狄明,谭丕强,胡志远,房亮,唐远贇 (2020),一种非道路移动机械复合再生颗粒后处理装置,(CN112127969A),北京:中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>王等 2013

<Reference>王杰,丁勇,杨安志,金吉刚,任颖睦,赵福全 (2013),一种三元催化器及其催化层的涂覆方法 (CN102400745B),北京:中华人民共和国国家知识产权局.

**

<source>苏等 2020

<Reference>苏庆运, 刘轩江, 佟德辉, 张学敏, 张建华, 霍翠英 (2020), 柴油机 Fe-Cu 分子筛 SCR 催化剂的数值模拟, 内燃机学报 38(02), 161-168.

**

<source>韦等 2007

<Reference>韦正乐, 黄碧纯, 叶代启, 徐雪梅. (2007), 烟气 NO_x 低温选择性催化还原催化剂研究进展, 化工进展, 26(3), 320-325.

**

GLOSSARIO ITALIANO-CINESE

意/汉词典

<it>	<zh>	Pinyin
意大利	中文	拼音
Adsorbire	吸附	Xīfù
Allumina	氧化铝	Yǎnghuàlǚ
ASC	氨分解催化器	Ān fēnjiě cuīhuàqì
Attivatore	助催化剂	Zhùcuīhuàjì
Austenite	奥氏体	Àoshìtǐ
Avvelenamento	中毒	Zhòngdú
Böhmite	一水软铝石	Yīshuǐ ruǎnlǚshí
Cabasite	菱沸石	Língfēishí
Calcinazione	煅烧	Duànshāo
Canning	封装	Fēngzhuāng
Capacità d'accumulo d'ossigeno	储氧能力	Chǔyǎng nénglì
Catalisi	催化	Cuīhuà
Catalizzatore	催化剂	Cuīhuàjì

Cella	窝室	Wōshì
Cerio	铈	Shì
Close-coupled	紧耦合式	Jǐn ǒuhé shì
Coefficiente di dilatazione termica	热膨胀系数	Rè péngzhàng xìshù
Convertitore a quattro vie	四元催化器	Sìyuán cuīhuàqì
Convertitore a tre vie	三元催化器	Sānyuán cuīhuàqì
Convertitore catalitico	催化转化器	Cuīhuà zhuǎnhuàqì
Convertitore ossidante	氧化型转化器	Yǎnghuàxíng zhuǎnhuàqì
Convertitore ossidante per il diesel	柴油氧化催化器	Cháiyóu yǎnghuà cuīhuàqì
Convertitore per l'accumulo degli NO _x	NO _x 储存催化剂	NO _x chǔcún cuīhuàjì
Convertitore per la riduzione catalitica selettiva	选择性还原催化器	Xuǎnzéxìng háiyuán cuīhuàqì
Cordierite	堇青石	Jǐnqīngshí
DEF	柴油机尾气处理液	Cháiyóujī wěiqì chùlǐyè
Desorbire	解吸	Jiěxī
Disattivazione	失活	Shīhuó
Estrusione	挤压	Jīyā

Fase attiva	活性组分	Huóxìng zǔfèn
Fibre ceramiche refrattarie	耐火陶瓷纤维	Nàihuǒ táocǐ xiānwéi
Filatura per fusione	熔融纺丝	Róngróng fǎngsī
Filtro	过滤器	Guòlǜqì
Filtro DPF	柴油颗粒过滤器	Cháiyóu kēlì guòlǜqì
Filtro GPF	汽油机颗粒物捕集器	Qìyóujī kēlìwù bǔjíqì
Flow-through	直通式	Zhítōngshì
Impregnazione	浸渍法	Jinzìfǎ
Invecchiamento	老化	Lǎohuà
Involucro	壳体	Kéitǐ
Isolante	隔热罩	Gérèzhào
Lana minerale	矿棉	Kuàngmián
Materassino	衬垫	Chèndiàn
Membrane a scambio protonico	质子交换膜	Zhìzǐ jiāohuànmó
Metalli del gruppo del platino	铂族金属	Bózú jīnshǔ
Metodo dello scambio di ioni	离子交换法	Lízǐ jiāohuànfǎ

Monolite a nido d'ape	蜂窝载体	Fēngwō zǎitǐ
Ossidare	氧化	Yǎnghuà
Palladio	钯	Bǎ
Pellet	颗粒	Kēlì
Perovskite	钙钛矿	Gàitàikuàng
Platino	铂	Bó
Porosità	孔隙率	Kǒngxìlǜ
Precipitazione	沉淀法	Chéndiànfǎ
Precursore	先驱物	Qiánqūwù
Processo sol-gel	溶胶凝胶法	Róngjiāo níngjiāo fǎ
Rapporto aria-combustibile	空燃比	Kōngránbǐ
Ricircolo dei gas esausti	废气再循环	Fèiqì zàixúnhuán
Ridurre	还原	Huányuán
Rigenerazione	再生	Zàishēng
Rodio	铈	Lǎo
Schiuma ceramica	泡沫陶瓷	Pàomò táocí

Setaccio molecolare	分子筛	Fēnzǐshāi
Sinterizzazione	烧结	Shāojié
Sistema a circuito chiuso	闭环控制系统	Bìhuán kòngzhì xìtǒng
Sistema CRT	连续再生过滤器	Liánxù zàishēng guòlǜqì
Slurry	浆料	Jiāngliào
Sonda lambda	Lambda 探针	Lánmǔdá tànzhēn
Sospensione colloidale	胶体	Jiāotǐ
Stabilizzante	稳定剂	Wěndìngjì
Substrato	载体	Zàitǐ
Tecnica del rivestimento con slurry	浆涂法	Jiāngtúfǎ
Trappola LNT	稀燃 NO _x 捕集器	Xīrán NO _x bǔjíqì
Urea	尿素	Niàosù
Vanadio	钒	Fán
Vermiculite	蛭石	Zhìshí
Wall-flow	壁流式	Bìliúshì
Washcoat	涂层	Túcéng

Zeolite	沸石	Fèishí
Zirconio	锆	Gào
Zone coating	分区涂覆	Fēnqū túfù

GLOSSARIO CINESE/ITALIANO

汉/意词典

Pinyin 拼音	<zh> 中文	<it> 意大利
Ān fēnjiě cuīhuàqì	氨分解催化器	ASC
Àoshītǐ	奥氏体	Austenite
Bǎ	钯	Palladio
Bìhuán kòngzhì xìtǒng	闭环控制系统	Sistema a circuito chiuso
Bìliúshì	壁流式	Wall-flow
Bó	铂	Platino
Bózú jīnshǔ	铂族金属	Metalli del gruppo del platino
Cháiyóu kēlì guòlǜqì	柴油颗粒过滤器	Filtro DPF
Cháiyóu yǎnghuà cuīhuàqì	柴油氧化催化器	Convertitore ossidante per il diesel
Cháiyóujī wěiqì chùlǐyè	柴油机尾气处理液	DEF
Chèndiàn	衬垫	Materassino
Chéndiànǎ	沉淀法	Precipitazione

Chǔyǎng nénglì	储氧能力	Capacità d'accumulo d'ossigeno
Cuīhuà	催化	Catalisi
Cuīhuà zhuǎnhuàqì	催化转化器	Convertitore catalitico
Cuīhuàjì	催化剂	Catalizzatore
Duànshāo	煅烧	Calcinazione
Fán	钒	Vanadio
Fèiqì zàixúnhuán	废气再循环	Ricircolo dei gas esausti
Fèishí	沸石	Zeolite
Fēngwō zǎitǐ	蜂窝载体	Monolite a nido d'ape
Fēngzhuāng	封装	Canning
Fēnqū túfù	分区涂覆	Zone coating
Fēnzǐshāi	分子筛	Setaccio molecolare
Gàitài kuàng	钙钛矿	Perovskite
Gào	锆	Zirconio
Gérèzhào	隔热罩	Isolante
Guòlǜqì	过滤器	Filtro

Huányuán	还原	Ridurre
Huóxìng zǔfèn	活性组分	Fase attiva
Jiāngliào	浆料	Slurry
Jiāngtúfǎ	浆涂法	Tecnica del rivestimento con slurry
Jiāotǐ	胶体	Sospensione colloidale
Jiěxī	解吸	Desorbire
Jǐn ǒuhé shì	紧耦合式	Close-coupled
Jǐnqīngshí	堇青石	Cordierite
Jìnzifǎ	浸渍法	Impregnazione
Jǐyā	挤压	Estrusione
Kēlì	颗粒	Pellet
Kéitǐ	壳体	Involucro
Kōngránbǐ	空燃比	Rapporto aria-combustibile
Kǒngxìlǜ	孔隙率	Porosità
Kuàngmián	矿棉	Lana minerale
Lánmǔdá tànzhēn	Lambda 探针	Sonda lambda

Lǎo	铈	Rodio
Lǎohuà	老化	Invecchiamento
Liánxù zàishēng guòlùqì	连续再生过滤器	Sistema CRT
Língfēishí	菱沸石	Cabasite
Lízǐ jiāohuàn fǎ	离子交换法	Metodo dello scambio di ioni
Nàihuǒ táocǐ xiānwéi	耐火陶瓷纤维	Fibre ceramiche refrattarie
Niàosù	尿素	Urea
Nox chǔcún cūhuàjì	NO _x 储存催化剂	Convertitore per l'accumulo degli NO _x
Pàomò táocǐ	泡沫陶瓷	Schiuma ceramica
Qiánqūwù	前驱物	Precursore
Qìyóujī kēliwù bǔjíqì	汽油机颗粒物捕集器	Filtro GPF
Rè péngzhàng xìshù	热膨胀系数	Coefficiente di dilatazione termica
Róngjiāo níngjiāo fǎ	溶胶凝胶法	Processo sol-gel
Róngróng fǎngsī	熔融纺丝	Filatura per fusione
Sānyuán cūhuàqì	三元催化器	Convertitore a tre vie
Shāojié	烧结	Sinterizzazione

Shì	铈	Cerio
Shīhuó	失活	Disattivazione
Siyuán cuīhuàqì	四元催化器	Convertitore a quattro vie
Túcéng	涂层	Washcoat
Wěndìngjì	稳定剂	Stabilizzante
Wōshì	窝室	Cella
Xīfù	吸附	Adsorbire
Xīrán nox bǔjíqì	稀燃 NOx 捕集器	Trappola LNT
Xuǎnzéxìng háiyuán cuīhuàqì	选择性还原催化器	Convertitore per la riduzione catalitica selettiva
Yǎnghuà	氧化	Ossidare
Yǎnghuàlǚ	氧化铝	Allumina
Yǎnghuàxíng zhuǎnhuàqì	氧化型转化器	Convertitore ossidante
Yīshuǐ ruǎnlǚshí	一水软铝石	Böhmite
Zàishēng	再生	Rigenerazione
Zàitǐ	载体	Substrato
Zhìshí	蛭石	Vermiculite

Zhítōngshì	直通式	Flow-through
Zhìzǐ jiāohuàn mó	质子交换膜	Membrane a scambio protonico
Zhòngdú	中毒	Avvelenamento
Zhùcuīhuàjì	助催化剂	Attivatore

BIBLIOGRAFIA

- ACRES, G. J. K., COOPER, B. J. (1976) *Catalyst* (US3951860). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- ACRES, G. J. K., HARRISON, B. (2004). "The development of catalysts for emission control from motor vehicles: early research at Johnson Matthey". *Topics in Catalysis*, 28(1), 3-11.
- AHMADI, P., CAI, X. M., KHANNA, M. (2018). "Multicriterion optimal electric drive vehicle selection based on lifecycle emission and lifecycle cost". *International Journal of Energy Research*, 42(4), 1496-1510.
- ALBA-LOIS, L., SEGAL-KISCHINEVZKY, C. (2010). "Yeast fermentation and the making of beer and wine". *Nature Education*, 3(9), 17.
- ANFIA (2019), *L'industria automotive mondiale nel 2019 e trend 2020*. Torino: ANFIA Area Studi e Statistiche.
- ANNOUNCEMENTS (1982), *Nature*, 300, 201-202.
- ASHLEY, S. (2014). "Attacking GDI engine particulate emissions". *SAE Articles*, 13624.
- BAUNER, D. (2007), "Global innovation vs. local regulation: introduction of automotive emission control in Sweden and Europe". *International Journal of Environmental Technology and Management*, 7(1/2), 244.
- BEYER, S. (2006), "Environmental law and policy in the People's Republic of China", *Chinese journal of international law*, 5(1), 185-211.
- BODE, Hans (2002). *Material Aspect in Automotive Catalytic Converter*. Chicago: Wiley-VCH.
- BRISLEY, R. J., CHANDLER, G. R., JONES, H. R., ANDERSON, P. J., & SHADY, P. J. (1995), "The use of palladium in advanced catalysts", *SAE transactions*, 104(4), 317-329.

- BRUBACHER M. L., RAYMOND J. C. (1969) “California Vehicle Exhaust Control”, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 19(4), 224-229.
- BUZBY S.E., CAUDLE M.T., DIETERLE M. (2010), *Integrated SCR and AMOX Catalyst Systems*. (US2010/0111796A1) Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- CAMES, M., ECKARD H., (2013) “Critical evaluation of the European diesel car boom - global comparison, environmental effects and various national strategies”. *Environ Sci Eur*, 25, 15.
- CATLOW, C.R., DAVIDSON, M., HARDACRE, C., HUTCHINGS, G.J. (2016) “Catalysis making the world a better place”. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2061), 20150089.
- CHEN Lingling 陈玲玲 (2007) “Cuihua zhuanhuaqi neibu liuchang de sanwei shuzhi moni” 催化转化器内部流场的三维数值模拟 (Simulazione numerica tridimensionale del campo di flusso di una marmitta catalitica) , PhD Dissertation, *Dalian ligong daxue* 大连理工大学.
- CHEN Ruiqing 陈瑞青 (2015), “Zhongguo cuihua zhuanhuaqi shichang fazhan xianzhuang” 中国催化转化器市场发展现状 (Stato di sviluppo del mercato dei convertitori catalitici), *Qiche gongye yanjiu* 汽车工业研究, 12, 19-22.
- CHEREMUKHIN, A., GOLOSOV, M., GURIEV, S., TSYVINSKI, A. (2015), *The economy of People’s Republic of China from 1953*, National Bureau of Economic Research.
- CHONGJING D., ZHANG L., (2018), *China Pulse Check: Auto Sector*, Hong Kong: GF Securities.
- CHURCH, M. L., COOPER, B. J., WILLSON, P. J. (1989), “Catalyst formulations 1960 to present”, *SAE transactions*, 98(4), 456-463.
- CLARKE C. (1995), *Nuovo dizionario tecnico automobilistico*, Roma: Conti Editore.
- COWLEY, A. (2021), *PGM Market Report*, Report, Johnson Matthey.

- CRUNDWELL, F., MOATS, M., RAMACHANDRAN, V., ROBINSON, T., DAVENPORT, W. G. (2011), *Extractive metallurgy of nickel, cobalt and platinum group metals*, Elsevier.
- CYBULSKI, A., JACOB A.M. (1994), "Monoliths in Heterogeneous Catalysis". *Catalysis Reviews*, 36(2), 179–270.
- DERAZ, N.M. (2018), "The comparative jurisprudence of catalysts preparation methods: II. Deposition-precipitation and adsorption methods", *Journal Industrial Environmental Chemistry*, 2(2), 1-3.
- DEXTER, D. (1979). *Case study of the innovation process characterizing the development of the three-way catalytic converter system*. Report, United States National Highway Traffic Safety Administration.
- ENZE, M., PEILING, Z. (1993), "Progress in catalytic technology in the People's Republic of China during the 1980s". *Applied Catalysis A: General*, 95(1), 1–20.
- ESMAEILNEJAD-AHRANJANI, P., KHODADADI, A.A., MORTAZAVI, Y. (2020), "Self-regenerative function of Cu in LaMnCu_{0.1}O₃ catalyst: towards noble metal-free intelligent perovskites for automotive exhaust gas treatment", *Applied Catalysis A: General*, 602, 117702.
- FAIRBANK, H.S. (1944, January). "Trends of Highway Taxation with Special Reference to Property Taxes", *Engineering Bulletin*, Extension Series, No. 56, Purdue University.
- FARRAUTO, R. J., DEEBA, M., & ALERASOOL, S. (2019), "Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air", *Nature Catalysis*, 2(7), 603-613.
- FAURECIA (2016, 1-16 October), Mondial de l'Automobile, 2016 Paris Motor Show.
- FRENKEL, M. (1909). *Process and Apparatus for Deodorizing Exhaust Gases of Explosion Engines*. (GB190909364A). London, The Chartered Institute of Patent Agents.

- GAN, L. (2003), “Globalization of the automobile industry in China: dynamics and barriers in greening of the road transportation”, *Energy policy*, 31(6), 537-551.
- GANG, L. (2004). “The Chinese automobile industry: An overview”. *现代社会文化研究*, (30), 19-43.
- GOKHALE, A.A., DUMESIC, J.A., MAVRIKAKIS, M. (2008), “On the mechanism of low-temperature water gas shift reaction on copper”, *Journal of the American Chemical Society*, 130(4), 1402-1414.
- GOVENDER, S., FRIEDRICH, H.B. (2017), “Monoliths: a review of the basics, preparation methods and their relevance to oxidation”, *Catalysts*, 7(2), 62.
- GUILLÉN-HURTADO, N., RICO-PÉREZ, V., GARCIA-GARCIA, A., LOZANO-CASTELLO, D., & BUENO-LÓPEZ, A. (2012), “Three-Way Catalysts: Past, Present and Future”, *Dyna*, 79(175), 114-121.
- GUO Min 郭敏, WANG Jianyu 王剑雨, WANG Yulong 王玉龙 (2018), *Cheyong cuihuaji hangye 车用催化剂行业 (Industria dei catalizzatori automobilistici)*. Report. Guangfa zhengjuan 广发证券.
- HALDAR, S. K. (2016), *Platinum-nickel-chromium Deposits: Geology, Exploration and Reserve Base*, Elsevier.
- HARRISON, B., COOPER, B.J., WILKINS, A.J.J. (1981). “Control of nitrogen oxide emissions from automobile engines”. *Platinum Metals Review*, 25(1), 14-22.
- HECK, R.M., FARRAUTO, R.J., GULATI S.T. (2009). *Catalytic Air Pollution Control: Commercial Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- HEPBURN, J. S., PATEL, K. S., MENEGHEL, M. G., GANDHI, H. S., ENGELHARD THREE WAY CATALYST DEVELOPMENT TEAM, & JOHNSON MATTHEY THREE WAY CATALYST DEVELOPMENT TEAM (1994), “Development of Pd-only three way catalyst technology”, *SAE transactions*, 103(4), 1667-1673.

- HEYWOOD J.B. (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Education.
- HOUDRY, E.J., (1956) *Catalytic Structure and Composition* (US2742437). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- HOUDRY, E.J. (1962). *Catalytic Exhaust Purifier for Engines Operating on Leaded Gasoline* (US3024593A). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- JANG, W.Y., KRAYNIK, A.M., KYRIAKIDES, S. (2008). “On the microstructure of open-cell foams and its effect on elastic properties”, *International Journal of Solids and Structures*, 45(7-8), 1845-1875.
- JOHNSON T.V., JOSHI A., (2018) Chapter 1: Review of deNO_x Technology for Mobile Applications. In Lietti, L., Castoldi, L. (a cura di), *NO_x Trap Catalysts and Technologies: Fundamentals and Industrial Applications*, Royal Society of Chemistry, (33), 1-35.
- KAKAEI, K., ESRAFILI, M.D., EHSANI, A. (2019). “Introduction to catalysis”. In *Graphene surfaces: particles and catalysts*, 27, Elsevier, 1-21.
- KALYANKAR, S.D., DESHMUKH, M.A., CHOPDE, S.S., KHEDKAR, C. D., LULE, V.K., DEOSARKAR, S.S. (2016), Milk Powder. In Caballero B., Finglas P.M., Toldrá F. (a cura di), *Encyclopedia of Food and Health*, Oxford: Academic Press, 724–728
- KAMASAMUDRAM, K., HENRY, C., CURRIER, N., YEZERETS, A. (2012). “N₂O Formation and Mitigation in Diesel Aftertreatment Systems”. *SAE International Journal of Engines*, 5(2), 688-698.
- KAŠPAR, J., FORNASIERO, P., & HICKEY, N. (2003), “Automotive catalytic converters: current status and some perspectives”, *Catalysis today*, 77(4), 419-449.
- KEAV, S., MATAM, S. K., FERRI, D., WEIDENKAFF, A. (2014), “Structured perovskite-based catalysts and their application as three-way catalytic converters—a review”, *Catalysts*, 4(3), 226-255.

- KEITH, C, SCHREUDERS, T., CUNNINGHAM, C. (1969) *Apparatus for purifying gases of an internal combustion engine* (US3441381), Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- KOZIOŁ-JAROSZ, M., & BRZEŹAŃSKI, M. (2017), “The role and tasks of the support mats in construction of catalytic converters”, *Combustion Engines*, 170(3), 96-99.
- KUMMER, J. T. (1975). Oxidation of CO and C₂H₄ by Base Metal Catalysts Prepared on Honeycomb Supports. In McEvoy, J.E. (a cura di), *Catalysts for the control of automotive pollutants*, Washington, DC: American Chemical Society, 178–192.
- LAMBERT, C.K. (2019). “Current state of the art and future needs for automotive exhaust catalysis”. *Nature Catalysis*, 2(7), 554-557.
- LANZA, A., (2000), *Il cambiamento climatico*, Bologna: il Mulino.
- LIU, Y., WALL, T., KHARE, S., GUPTA, R. (2011), Oxy-fuel heat transfer characteristics and impacts on boiler design. In Zheng, L. (a cura di), *Oxy-Fuel Combustion for Power Generation and Carbon Dioxide (CO₂) Capture*, Elsevier, 166-194.
- MA, Y., KUHN, A. N., GAO, W., AL-ZOUBI, T., DU, H., PAN, X., YANG, H. (2021), “Strong electrostatic adsorption approach to the synthesis of sub-three nanometer intermetallic platinum–cobalt oxygen reduction catalysts”, *Nano Energy*, 79, 105465.
- MAJEWSKI, W.A. (2005), Selective catalytic reduction; 2005, in “dieselnet.com”, http://www.dieselnet.com/tech/cat_scr.php, 15-05-2021.
- MARTINELLI, M., VISCONTI, C.G., LIETTI, L., FORZATTI, P. (2012). *Studi e sperimentazione del processo di produzione di combustibili liquidi da carbone*. Report, ENEA.
- MATSUURA, S., HIRAI, A., ARIMURA, K., & SHINJOH, H (1995), “Development of three-way catalyst with using only Pd as activator”, *SAE transactions*, 104(4), 302-309.

- MCCARTHY, T. (2007). *Auto mania: cars, consumers, and the environment*. London: Yale University Press.
- MECA (1999) *Demonstration of advanced emission control technologies enabling diesel powered heavy-duty engines to achieve low emission levels*, Washington, DC: Manufacturers of Emission Controls Association.
- MIAO, Y., HYNAN, P., VON JOUANNE, A., YOKOCHI, A. (2019). “Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements”, *Energies*, 12(6), 1074.
- MOHR, M., LEHMANN, U., RÜTTER, J. (2005), “Comparison of Mass-Based and Non-Mass-Based Particle Measurement Systems for Ultra-Low Emissions from Automotive Sources”, *Environmental Science & Technology*, 39(7), 2229–2238.
- MOLINA, L. T. (2020). “Introductory lecture: air quality in megacities”. *Faraday discussions*, 226, 9-52.
- NADERI, M. (2015). Surface Area: Brunauer–Emmett–Teller (BET). In Tarleton E.S. (a cura di), *Progress in filtration and separation*, Academic Press, 585–608.
- OHORI T., TAGUCHI M (2020). *Ammonia Slip Catalyst*. (JP2020049461A), Japan Patent Office.
- OLAH, G.A., GOEPPERT, A., & PRAKASH, G.S. (2018), *Beyond oil and gas: the methanol economy*, Weinheim: John Wiley & Sons.
- OLSSON, L., WANG, A., (2019). “The impact of automotive catalysis on the United Nations sustainable development goals”. *Nature Catalysis*, 2(7), 566-570.
- PHILIPS, T. C., KYDRYAVTSEV, S. A. (2015). *Catalytic cracking of vacuum gas oil using technology of aerosol nanocatalysis*, East Ukrainian University Severodonetsk.
- RONCHETTI, M. (2008). *Celle a combustibile: stato di sviluppo e prospettive della tecnologia*. Report, ENEA.

- RUSSELL, A., & EPLING, W. S. (2011). "Diesel oxidation catalysts". *Catalysis Reviews*, 53(4), 337-423.
- SQUIRES, A.M. (1986). The story of fluid catalytic cracking: the first "circulating fluid bed", *Circulating Fluidized Bed Technology*, Elsevier, 1–19.
- TAYLOR, K.C. (1984). *Automobile Catalytic Converters*. Berlino, Heidelberg: Springer-Verlag.
- THOMPSON, C.E., MOONEY, J.J., KEITH, C.D., MANNION, W.A. (1979) *Polyfunctional catalysts* (US4157316) Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- TOTTOLA, F., ALLEGREZZA, A., RIGHETTI, M. (2005). *Nuovo corso di chimica*. Minerva Italica.
- TRIFIRÒ F. (2018), "I metalli nobili, preziosi e rari", *La Chimica e l'Industria online*, 2(5), 3-4.
- U.S. BUREAU OF MINES (1993), *Minerals Yearbook*, vol. 1, Washington: U.S. Government Printing Office.
- VILLAVECCHIA, V., EIGENMANN, G (1973). *Nuovo dizionario di merceologia e chimica applicata*. Eigenmann G., Ubaldini I. (a cura di). 1a edizione, Milano: Hoepli.
- VUILLEMOT R. (1898) Appareil pour la désinfection des gaz d'échappement des moteurs à pétrole, *La Locomotion automobile*, Haut Patronage du Touring Club de France, 5(25), 396.
- WAN, W., PATDU, K. (2013). "A new era in air quality monitoring in China". *Asian Environmental Technology*, 24-25.
- WANG J., WU Q., LIU J., YANG H., YIN M., CHEN S., GUO P., REN J., LUO X., LINGHU W., HUANG Q. (2019) "Vehicle emission and atmospheric pollution in China: problems, progress, and prospects". *PeerJ*, 7: e6932.

- WANG Liqiong 王丽琼, WANG daxiang 王大祥, ZHANG Xingyan 张兴燕, FENG Zhanggen 冯长根 (2002). “Bu tong yuanliao zhibei γ -Al₂O₃ fengwo taoci tuceng de yanjiu” 不同原料制备 γ -Al₂O₃ 蜂窝陶瓷涂层的研究 (Studio sulla preparazione di washcoat di γ -Al₂O₃ per monoliti ceramici a nido d'ape a partire da varie materie prime). *Gongye cuihua* 工业催化 (03), 52-55.
- WILLIAMS, M., MINJARES, R. (2016). “A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards”. *ICCT*, 1-12.
- WOBU Zhengzhi 我部正志, JINJING Wuren 今井武人, YUEZHI Zhiwen 越智直文 (2003). *Paiqi jinghua xitong jiqi zaisheng kongzhi fangfa* 排气净化系统及其再生控制方法 (Sistema di depurazione dei gas di scarico e metodo di controllo per la rigenerazione dei dispositivi) (CN1423035A). Beijing: Zhonghua renmin gongheguo guojia zhishi chanquanju.
- WU, F. (2013). “China’s Pragmatic Tactics in International Climate Change Negotiations”. *Asian Survey*, 53(4), 778–800.
- XU J., WANG H., GUO F., ZHANG C., XIE J. (2019). “Recent advances in supported molecular sieve catalysts with wide temperature range for selective catalytic reduction of NO_x with C₃H₆”, *RSC advances*, 9(2), 824-838.
- YAO Xin 姚鑫, ZHOU Zheng 周铮, DUAN Yifan 段一帆, ZHONG Hao 钟浩 (2018), “Jiegou fenfan fuza de weiqi cuihua zhenghua shichang” 解构纷繁复杂的尾气催化净化市场 (Analisi del complesso mercato dei sistemi di scarico catalitici), *Zhaoshang zhengjuan guoji youxian gongsi* 招商证券国际有限公司.
- YAVUZ, B., VOSS, K., DEEBA, M., ADOMAITIS, J., FARRAUTO, R. (2001), *Zeolite containing oxidation catalyst and method of use* (US6248684), Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- ZELENKA, P., HOHENBERG, G., GRAF, U. (1994). “Diesel oxidation catalyst application strategies with special emphasis on odour reduction”, *SAE Transactions*, 103, 1981–1993.

ZINGARELLI N. (1987) *Il Nuovo Zingarelli. Vocabolario della lingua italiana*.
Dogliotti M., Rosiello L. (a cura di). 11a edizione, Bologna: Zanichelli.

ZHANG Wei 张巍 (2014). “Jinqingshi hecheng de yanjiu jinzhan” 堇青石合成的研究
进展 (Progressi della ricerca sulla sintesi della cordierite). *Jinshi kuangwuxue
zazhi* 岩石矿物学杂志, 33(4), 747-762.

ZHOU Yan 周燕. (2002). “Jinqingshi zhi fengwo taoci zaiti de yanjiu” 堇青石质蜂窝
陶瓷载体的研究 (Ricerca sui supporti in ceramica a nido d'ape in cordierite).
Wuhan ligong daxue 武汉理工大学.

SITOGRAFIA

- AA, *Limits to improve air quality and health*, in “theaa.com”, <https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>, 25-04-2021.
- ACS, (1996), *The Houdry Process for Catalytic Cracking*, in “acs.org”, <http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/houdry.html>, 27-04-2021.
- AECC, *About AECC*, in “aecc.eu”, <https://www.aecc.eu>, 27-04-2021.
- AGENZIA EUROPEA PER LA SICUREZZA E LA SALUTE SUL LAVORO, *CLP - Classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele*, in “osha.europa.eu”, <https://osha.europa.eu/it/themes/dangerous-substances/clp-classification-labelling-and-packaging-of-substances-and-mixtures>, 18-05-2021.
- API – UK Parliament (1986), *Motor Vehicle Emissions*, in “api.parliament.uk”, https://api.parliament.uk/historic-hansard/commons/1986/jan/14/motor-vehicle-emissions#column_1027, 20-04-2021.
- CHAFFEE I., (2017), *Methanol: A planet-friendly energy source?*, in “news.usc.edu”, <https://news.usc.edu/120187/methanol-the-next-fuel-efficient-renewable-energy-source/>, 10-05-2021.
- CONSIGLIO DI STATO DELLA RPC 国务院 (2018), *Guowuyuan guanyu yinfa daying lantian baowei zhan san nian xingdong jihua de tongzhi* 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知 (Avviso del Consiglio di Stato: piano d'azione triennale per la battaglia di conquista e difesa del “cielo azzurro”), in “gov.cn”, <http://www.gov.cn/zhengce/content /2018-07/03/content 5303158.htm>, 28-05-2021.
- EPA, *Timeline of Major Accomplishments in Transportation, Air Pollution, and Climate Change*, in “epa.gov”, <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and->

[climate-change/timeline-major-accomplishments-transportation-air#main-content](#), 20-05-2021.

GLENN R. (2020) “John Mooney, a father of the catalytic converter, dies at 90”, *The Washington Post*: https://www.washingtonpost.com/local/obituaries/john-mooney-a-father-of-the-catalytic-converter-dies-at-90/2020/06/26/afbd87da-b7b4-11ea-aca5-ebb63d27e1ff_story.html (04-05-2021).

GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS (2021), *Automotive Catalytic Converter*, in “giichinese.com.cn”, <https://www.giichinese.com.cn/report/go940709-automotive-catalytic-converter.html>, 29-05-2021.

GLOBAL MONITORING LABORATORY, *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, in “gml.noaa.gov”, <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>, 25-05-2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS, *2000 Production Statistics*, in “oica.net”, <https://www.oica.net/category/production-statistics/2000-statistics/>, 28-05-2021.

KUHLGATZ D., *Sensing the adequate mixture – the Bosch Lambda Sensor*, in “bosch.com”, <https://www.bosch.com/stories/40-years-of-bosch-lambda-sensor/>, 15-05-2021.

MAGNETI MARELLI (2016), *Magneti Marelli inaugura a Shanghai il suo nuovo “quartier generale” cinese*, in “magnetimarelli.com”, <https://www.magnetimarelli.com/it/press-room/notizie/magneti-marelli-inaugura-shanghai-il-suo-nuovo-“quartier-generale”-cinese>, 29-05-2021.

MAJEWSKI, W.A. (2020), *NO_x adsorbers*, *DieselNet Technology Guide 2020*, in “dieselnet.com”, https://dieselnet.com/tech/cat_nox-trap.php, 10-05-2021.

MANCINI F. (2012), *Perdite di carico*, in “teknoring.com”, <https://www.teknoring.com/wikitecnica/impianti/perdite-di-carico/>, 19-05-2021.

MCNALLY J., (2010), *July 26, 1943: L.A. Gets First Big Smog*, in “wired.com”, in <https://www.wired.com/2010/07/0726la-first-big-smog/>, 26-05-2021.

- MINISTRY OF SCIENCE&TECHNOLOGY OF CHINA, *Huoju jihua xiangmu zongti gaikuang* 火炬计划项目总体概况 (Panoramica generale del China Torch Program), in “chinatorch.gov.cn”, <http://www.chinatorch.gov.cn/hjjh/gaikuang/201312/b9f2949636604ad1895e276591d3f32c.shtml>, 29-05-2021.
- NAZIONI UNITE, (2019), *Cop25: la Conferenza ONU sul cambiamento climatico, 5 cose da sapere*, in “unric.org”, in <https://unric.org/it/cop25-la-conferenza-onu-sul-cambiamento-climatico-5-cose-da-sapere/>, 05-05-2021.
- NEW OXIDAL, *Protezione dell'alluminio tramite processi di ossidazione anodica*, in “alluminioanodizzato.com”, https://www.alluminioanodizzato.com/ossidazione-anodica?gclid=Cj0KCOjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8DMYXnccEMcNpb8EWZCLbgiONFDwO8UIHGT1_bBEpZhCurBZGEkaVOcaAmMsEALw_wcB, 20-05-2021.
- POLITECNICO DI TORINO, *Biblioteche di Ateneo*, in “polito.it”, <https://www.biblio.polito.it>, 15-04-2021.
- PRIVACY SHIELD, *China - Automotive Industry*, in “privacyshield.gov”, <https://www.privacyshield.gov/article?id=China-Automotive-Components-Market>, 28-05-2021.
- RITCHIE H. (2017), *Carbon intensity in China's recent history – Politics matters a lot in achieving both prosperity and sustainability*, in “ourworldindata.org”, <https://ourworldindata.org/chinese-turbulence-how-periods-of-political-reform-affect-the-carbon-intensity-of-economies>, 27-05-2021.
- STRATAS ADVISORS, (2020), *A Global Overview and Outlook of On-Road Diesel Quality, Vehicle Emissions and Fuel Efficiency*, in “stratasadvisors.com”, <https://stratasadvisors.com/insights/2020/10302020-global-on-road-diesel-quality-outlook>, 20-04-2021.
- TENNECO (2021), *Global Presence*, in “tenneco.com”, <https://www.tenneco.com/who-we-are/global-presence/global-locations>, 29-05-2021.

TRANSPORT POLICY, *China: Light-Duty: Emissions*, in “transportpolicy.net”, in <https://www.transportpolicy.net/standard/china-light-duty-emissions/>, 27-05-2021.

TRECCANI, (2021), *Enciclopedia online*, Istituto dell’Enciclopedia Italiana, in “Treccani.it”, <http://www.treccani.it/enciclopedia/>

UMICORE, *Technologies*, in “ac.umicore.com”, <https://ac.umicore.com/en/technologies/>, 05-05-2021.

WORLD DATA ATLAS, *China - CO2 emissions*, in “knoema.com”, in <https://knoema.com/atlas/China/CO2-emissions>, 27-05-2021.

YORK A., (2011), *The evolution of catalytic converters*, in “edu.rsc.org”, <https://edu.rsc.org/feature/the-evolution-of-catalytic-converters/2020252.article>, 20-04-2021.

ILLUSTRAZIONI

Figura 1: da MOLINA, L. T. (2020). “Introductory lecture: air quality in megacities”. *Faraday discussions*, 226, pp 32.

Figura 2: da GUO Min 郭敏, WANG Jianyu 王剑雨, WANG Yulong 王玉龙 (2018), *Cheyong cuihuaqi hangye 车用催化剂行业 (Industria dei catalizzatori automobilistici)*. Report. Guangfa zhengjuan 广发证券, pp 19.

Figura 3: da SCIENCE HISTORY INSTITUTE (2017), *Eugene Houdry*, in “sciencehistory.org”, <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/eugene-houdry>, 15-05-2021.

Figura 4: da VUILLEMOT R. (1898) Appareil pour la désinfection des gaz d'échappement des moteurs à pétrole, *La Locomotion automobile*, Haut Patronage du Touring Club de France, 5(25), pp 396.

Figura 5: da HOUDRY, E.J. (1962). *Catalytic Exhaust Purifier for Engines Operating on Leaded Gasoline (US3024593A)*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, pp 1.

Figura 6: da MAINE MEMORY, *President Lyndon B. Johnson signs the Clean Air Act, December 17, 1963*, in “mainmemory.net”, <https://www.mainmemory.net/artifact/10829>, 25-04-2021.

Figura 7: da GRAYEN M. (2016), *Why Do Some Replacement Exhaust Manifolds Come With Catalytic Converters?*, in “carid.com”, <https://www.carid.com/articles/why-do-some-replacement-exhaust-manifolds-come-with-catalytic-converters.html>, 15-05-2021.

Figura 8: da HECK, R.M., FARRAUTO, R.J., GULATI S.T. (2009). *Catalytic Air Pollution Control: Commercial Technology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, pp 119.

- Figura 9: da HECK, R.M., FARRAUTO, R.J., GULATI S.T. (2009). *Catalytic Air Pollution Control: Commercial Technology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, pp 122.
- Figura 10: da BRISLEY, R. J., CHANDLER, G. R., JONES, H. R., ANDERSON, P. J., & SHADY, P. J. (1995), “The use of palladium in advanced catalysts”, *SAE transactions*, 104(4), pp 328.
- Figura 11: da BRISLEY, R. J., CHANDLER, G. R., JONES, H. R., ANDERSON, P. J., & SHADY, P. J. (1995), “The use of palladium in advanced catalysts”, *SAE transactions*, 104(4), pp 327.
- Figura 12: da BRISLEY, R. J., CHANDLER, G. R., JONES, H. R., ANDERSON, P. J., & SHADY, P. J. (1995), “The use of palladium in advanced catalysts”, *SAE transactions*, 104(4), pp 328.
- Figura 13: da HECK, R.M., FARRAUTO, R.J., GULATI S.T. (2009). *Catalytic Air Pollution Control: Commercial Technology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, pp 259.
- Figura 14: da KAŠPAR, J., FORNASIERO, P., & HICKEY, N. (2003), “Automotive catalytic converters: current status and some perspectives”, *Catalysis today*, 77(4), pp 444.
- Figura 15: da OLSSON, L., WANG, A., (2019). “The impact of automotive catalysis on the United Nations sustainable development goals”. *Nature Catalysis*, 2(7), pp 566.
- Figura 16: da UMICORE, *Fuel cell catalysts*, in “fcs.unicore.com”, <https://fcs.unicore.com/en/fuel-cells/>, 25-05-2021.
- Figura 17: da TRECCANI, *Catalisi ambientale*, in “treccani.it”, [https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale %28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/catalisi-ambientale_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/), 27-05-2021.

Figura 18: da HECK, R.M., FARRAUTO, R.J., GULATI S.T. (2009). *Catalytic Air Pollution Control: Commercial Technology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, pp 25.

Figura 19: da HECK, R.M., FARRAUTO, R.J., GULATI S.T. (2009). *Catalytic Air Pollution Control: Commercial Technology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, pp 28.

Figura 20: da SEEKING ALPHA, *Platinum group metals: a poor track record*, in “seekingalpha.com”, <https://seekingalpha.com/article/4161789-platinum-group-metals-poor-track-record>, 30-05-2021.

Figura 21: da MA, Y., KUHN, A. N., GAO, W., AL-ZOUBI, T., DU, H., PAN, X., YANG, H. (2021), “Strong electrostatic adsorption approach to the synthesis of sub-three nanometer intermetallic platinum–cobalt oxygen reduction catalysts”, *Nano Energy*, 79, pp 8.